



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Metody počítačového zpracování obrazu užitím
signálového procesoru**

**Computer methods of image processing
using signal processor**

1. ÚVOD	9
2. POŘÍZENÍ OBRAZU	10
2.1. SNÍMAČE SVĚTELNÉ ENERGIE	10
2.1.1. <i>Snímače na fotoemisním principu</i>	<i>10</i>
2.1.2. <i>Snímače na fotovoltaičtém nebo fotovodivostním principu</i>	<i>10</i>
2.2. SNÍMACÍ PRVKY	11
2.2.1. CCD.....	11
2.2.1.1. <i>Buňka CCD</i>	<i>13</i>
2.2.1.2. <i>Posuv náboje</i>	<i>14</i>
2.2.2. CMOS.....	15
2.2.2.1. <i>PPS a APS.....</i>	<i>15</i>
2.2.3. <i>Srovnání prvků CCD a CMOS</i>	<i>15</i>
2.3. KAMERA.....	15
2.3.1. <i>Analogová kamera.....</i>	<i>16</i>
2.3.2. <i>Digitální kamera</i>	<i>17</i>
2.3.3. <i>Porovnání analogové a digitální kamery</i>	<i>18</i>
2.3.4. <i>Řádkové CCD kamery</i>	<i>18</i>
2.3.5. <i>Plošné CCD kamery pro snímání podle TV standardů</i>	<i>18</i>
2.3.5.1. <i>Formáty CCD snímačů pro plošné kamery.....</i>	<i>19</i>
3. ZPRACOVÁNÍ OBRAZU.....	20
3.1. NORMA PAL A CCIR	20
3.1.1. <i>Tvorba televizního řádku podle standardu CCIR</i>	<i>20</i>
3.1.2. <i>Barevný signál PAL.....</i>	<i>22</i>
3.2. TELEVIZNÍ NORMA	22
3.3. SYNCHRONIZAČNÍ SIGNÁLY	22
3.4. DYNAMICKÉ OBRAZY	23
3.5. DIGITÁLNÍ OBRAZ.....	24
3.5.1. <i>Digitalizace</i>	<i>24</i>
3.5.2. <i>Interval vzorkování.....</i>	<i>25</i>
3.5.3. <i>Vzorkovací mřížka</i>	<i>25</i>
3.5.4. <i>Kvantování</i>	<i>25</i>
3.6. MATEMATICKÁ MORFOLOGIE.....	25
3.6.1. <i>Základní morfologické pojmy.....</i>	<i>26</i>
3.6.2. <i>Binární obraz.....</i>	<i>26</i>
3.6.3. <i>Morfologická transformace Ψ.....</i>	<i>27</i>
3.6.4. <i>Dilatace</i>	<i>28</i>
3.6.4.1. <i>Užití dilatace</i>	<i>29</i>

3.6.5.	<i>Eroze</i>	29
3.6.5.1.	<i>Užití eroze</i>	30
3.6.6.	<i>Otevření a uzavření</i>	30
3.6.6.1.	<i>Otevření</i>	30
3.6.6.2.	<i>Uzavření</i>	30
3.6.7.	<i>Skelet, maximální kruh</i>	31
4.	SIGNÁLOVÝ PROCESOR	34
4.1.	ADSP BLACKFIN 533	34
4.1.1.	<i>Mapa flash paměti</i>	35
4.1.2.	<i>Video rozhraní</i>	35
4.1.3.	<i>Architektura systému</i>	35
4.1.4.	<i>Externí jednotka rozhraní sběrniceového řadiče</i>	36
4.1.5.	<i>Video výstupní mód</i>	36
4.1.6.	<i>Video vstupní mód</i>	36
4.1.7.	<i>LED a tlačítka</i>	37
4.1.7.1.	<i>Programovatelná příznaková tlačítka (SW7–4)</i>	37
4.1.7.2.	<i>Resetovací tlačítko (SW8)</i>	37
4.1.7.3.	<i>LED dioda napájení (LED1)</i>	38
4.1.7.4.	<i>Resetovací LED (LED3–2)</i>	38
4.1.7.5.	<i>Uživatelské LED diody (LED9–4)</i>	38
4.1.7.6.	<i>LED dioda USB komunikace (LED11)</i>	38
4.1.8.	<i>Konektory</i>	38
4.1.8.1.	<i>JTAG emulační port</i>	38
4.1.8.2.	<i>Rozložení rozhraní (J3–1)</i>	38
4.2.	VŠEOBECNÝ POPIS DEKODÉRU ADV7183 A KODÉRU ADV7170/ADV7171	39
4.2.1.	<i>Dekodér ADV7183</i>	39
4.2.2.	<i>Kodér ADV7170/ADV7171</i>	39
4.3.	<i>Paměť procesoru BF533 a její nastavení</i>	40
4.3.1.	<i>Celkový pohled na vnitřní paměť</i>	42
4.3.2.	<i>L1 paměť poskytuje:</i>	42
4.3.3.	<i>Celkový pohled na Scratchpad Data SRAM</i>	43
4.3.4.	<i>Nastavení L1 instrukční paměti</i>	43
4.3.5.	<i>L1 instrukční cache</i>	44
4.3.6.	<i>L1 paměť dat</i>	44
4.3.7.	<i>Nastavení L1 data cache</i>	44
4.4.	DIRECT MEMORY ACCESS (DMA)	45
4.4.1.	<i>DMA sběrnice</i>	46
4.4.2.	<i>Dvourozměrné DMA (2D DMA)</i>	46

4.4.3.	<i>Konfigurace DMAx_CONFIG.....</i>	<i>47</i>
4.4.4.	<i>Ukázka nastavení DMA.....</i>	<i>48</i>
5.	IMPLEMENTOVANÉ ALGORITMY	50
5.1.	PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZU	50
5.1.1.	<i>Složení obrazu</i>	<i>50</i>
5.1.2.	<i>Prahování.....</i>	<i>52</i>
5.2.	<i>Ověření funkčnosti algoritmů.....</i>	<i>54</i>
5.3.	<i>Test rychlosti vytvořených algoritmů</i>	<i>54</i>
5.4.	<i>Signálový procesor ADSP BF533 versus PC.....</i>	<i>55</i>
6.	ZÁVĚR.....	56
	LITERATURA	57
	PŘÍLOHY	58
	<i>Příloha č. 1 Ukázka výsledků algoritmu dilatace</i>	<i>58</i>
	<i>Příloha č. 2 Ukázka výsledků algoritmu eroze.....</i>	<i>60</i>
	<i>Příloha č. 3 Ukázka výsledků algoritmu perimeter.....</i>	<i>62</i>
	<i>Příloha č. 4 Ukázka výsledků algoritmu medián.....</i>	<i>64</i>
	<i>Příloha č. 5 Ukázka obrázku lichého a sudého pulsnímku</i>	<i>66</i>

Metody počítačového zpracování obrazu užitím signálového procesoru

Anotace:

Cílem diplomové práce je navrhnout a vytvořit různé algoritmy pro počítačové zpracování obrazu. Algoritmy jsou vytvořeny v prostředí VisualDSP++ 4.0 a implementovány na signálový procesor ADSP-BlackFin533-EZ-KIT Lite od firmy Analog Devices.

Testy na rychlost a funkčnost zadaných algoritmů byly ověřeny prostřednictvím programu Matlab 7.0 na PC v laboratoři počítačového zpracování obrazu.

Výsledek diplomové práce podpořil teorii, že zpracování obrazových signálů na signálovém procesoru je rychlejší než na PC.

Abstract:

The aim of the diploma thesis is to suggest and create various algorithms for computer image processing. Algorithms are created in VisualDSP++ 4.0 environment and implemented on signal processor ADSP - BlackFin 533 - EZ - KIT Lite from company Analog Devices.

Tests on the rate and functionality were tested through the platform Matlab 7.0 of engaged algorithms on PC in Laboratory of Digital Image Processing (LDIP).

The outcome of the Diploma Project supported the theory that processing video signals is quicker on signal processor than on PC.

Prohlášení:

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 - školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladu, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 20. května 2005

Podpis:

Úvodem práce bych rád poděkoval panu Ing. Jiřímu Bažantovi a panu Ing. Lukáši Matelovi, kteří mi byli velmi nápomocni při navrhování, následném vytváření algoritmů počítačového zpracování obrazu a zpracování dokumentace. Neocenitelné byly zejména zkušenosti panu Ing. Jiřího Bažanta s vývojovým kitem ADDS-BF533-EZLITE.

Velký dík rovněž patří i vedoucímu diplomové práce, panu Doc. Ing. Ivanu Jakschovi.

1. Úvod

Vzhledem k obsahu zadání diplomové práce jsem její první část věnoval teoretickému popisu prvků snímání obrazu. Druhou část diplomové práce jsem zaměřil na popis výstupů matematické morfologie jako základního teoretického aparátu pro zpracování obrazu. V třetí části popisuji vlastní signálový procesor ADSP BF 533 a jeho funkce. Poslední čtvrtá část práce je zaměřena na popis praktických výsledků, které jsem při naplňování zadání diplomové práce dosáhl. V příloze je pak uvedena obrazová dokumentace dosažených výsledků.

2. Pořízení obrazu

Obrazová analýza představuje nástroj, pomocí kterého je možné převést informace obsažené v obrazu do numerické formy. Zjednodušeně si lze přiblížit obrazovou analýzu a její postupy jako soubor po sobě následujících kroků vedoucí k přeměně obrazových vjemů do číselné podoby.

Prvním krokem je získání obrazu v digitální podobě, následovaný jeho zpracováním do formy, která nejvíce vyhovuje plánovaným účelům.

Dalším krokem může být diskriminace, jejímž výsledkem je binární obraz, obsahující pouze dvě barvy - černou a bílou. V takto zpracovaném obraze je možné po jeho úpravě metodami matematické morfologie již poměrně snadno měřit a na základě těchto měření provádět výpočty. Při těchto krocích se digitální záznam mění a zjednodušuje.

2.1. Snímače světelné energie

Máme-li obrazovou informaci na vstupu do počítače, je ji nutno nejprve přesunout po jeho paměti. K tomu slouží buď digitalizační zařízení na bázi televizní techniky nebo nověji CCD členy. Pro profesionální použití bývá potřebné rozlišení digitalizace alespoň 512 x 512 pixelů (pixel = picture element), lépe však 1024 x 1024 a více. Typický počet stupňů šedi na pixel bývá 256 (pak je jeden pixel uložen v jednom bytu).

Snímače světelné energie používané v kamerách se dělí do dvou velkých skupin a to na snímače na fotoemisním principu a snímače na fotonásobičném nebo fotovodivostním principu.

2.1.1. Snímače na fotoemisním principu

Snímače na fotoemisním principu využívají vnější fotoelektrický jev. Přijetím fotonu je poskytnut dostatek energie, aby se uvolnil volný elektron. Principu se využívá ve vakuových snímacích elektronkách a fotonásobičích.

2.1.2. Snímače na fotonásobičném nebo fotovodivostním principu

Snímače na fotonásobičném nebo fotovodivostním principu se rozšířily s rozvojem polovodičů a využívají vnitřní fotoelektrický jev. Energie fotonu způsobí, že elektron opustí svoje valenční pásmo. U fotovodivostních látek se dostane do vodivého pásma. Množství dopadající světelné energie ovlivňuje makroskopickou vodivost. U fotonásobičů je vybuzený elektron zdrojem elektrického napětí, jehož projevem je proud úměrný množství

dopadající energie. Příslušnými čidly jsou fotodiody, lavinová fotodiody (zesilovač světla, chováním podobná vakuovému fotonásobiči, zesiluje také šum, používá se např. v kamerách pro noční vidění), fotoodpor a Schottkyho fotodiody (důležitá součást CCD snímačů).

Z praktického hlediska jsou od sedmdesátých let 20. století nejdůležitější CCD snímače. V jednotlivých čidlech převádí světelnou energii na elektrický náboj Schottkyho fotodiody. CCD snímač je analogovým posuvným registrem, který sejmutý náboj přesouvá do vyhodnocovací elektroniky. Problémem CCD kamer je vzájemné ovlivňování nábojů v sousedních pixelech (angl. blooming) a nemožnost adresovat jednotlivé pixely zapříčiněná způsobem posouvání náboje. Problémem CCD snímačů bývá také saturace pixelu. Jednotlivé pixely mají schopnost zadržet zhruba mezi 30 tis. až 200 tis. elektrony. Odstup signálu od šumu SNR bývá v nejlepším případě při chlazení čipu $SNR = 20 \log(200000/20) \log \text{šumu} \approx$ až 80 db, při obvyklé hladině šumu CCD snímače 20 elektronu. To odpovídá schopnosti vypořádat se přinejlepším se 4 řády intenzit. U obvyklých nechlazených kamer klesá rozsah použitelných intenzit až k pouhým dvěma řádům. Výroba CCD elementu je méně masová než u polovodičových technologií používaných pro paměti a procesory. Proto cena CCD kamer neklesla pod jednotky tisíc Kč. Výhodou CCD kamer je velká citlivost a poměrně nízký šum.

Rozvoj technologie dovolil od poloviny devadesátých let vyrábět snímací čipy také CMOS technologií. Vzhledem k masovému charakteru výroby je cena čipu na úrovni několika set Kč. Jelikož se procesory vyrábějí převážně také CMOS technologií, je možné na jednom čipu naintegrovat kameru i procesor přímo zpracovávající obraz. Výhodou CMOS kamer je větší rozsah intenzit (asi 4 řády), velká rychlost vyčítání (okolo 100 ns) a náhodný přístup k pixelum. Nevýhodou je asi o řád větší šum než u CCD kamer. CMOS kamery trh teprve dobývají, ale očekává se jejich velké rozšíření vzhledem k tomu, že jejich vlastnosti jsou srovnatelné s technologií CCD, ale jejich cena je podstatně nižší.

2.2. Snímací prvky

2.2.1. CCD

Coupled Charge Device je zařízení s vázaným nábojem. Tento název vychází z podstaty jejich činnosti jako obvodů s nábojovou vazbou.

Snímací prvky CCD se používají k opticko-elektrickému převodu obrazu snímané scény na elektrický signál. Jde o nejběžnější typ snímacího prvku. Původně byl vyvinut asi před 25 lety pro videokamery.

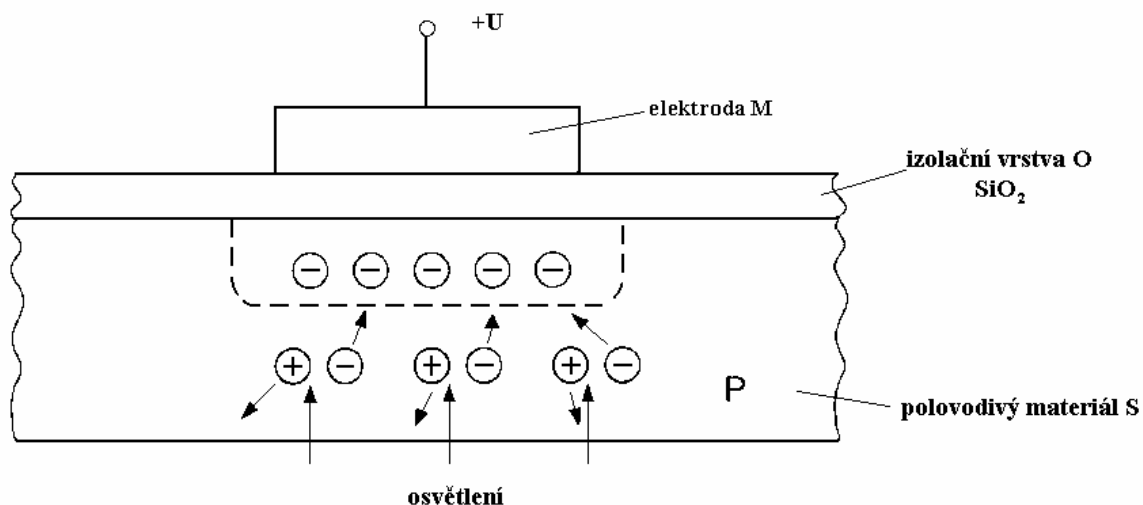
Základem je polovodičový element citlivý na světlo. Po jeho expozici se na něm vytvoří náboj, který je úměrný množství dopadnutého světla. Tato analogová hodnota se při zpracování obrazu převede na číselné vyjádření, ze kterého se složí výsledný obraz. V případě snímání barevného obrazu jsou elementy opatřené barevnými filtry. Jednotlivé elementy CCD reagují na světlo různé vlnové délky podobně jako lidské oko. Některé snímají zelenou, jiné červenou a další modrou barvu. Důležité jsou i informace o jasů barev. Kombinací jasů všech 3 barev je možné vyjádřit $256 \cdot 256 \cdot 256 = 16777216$ barevných odstínů, které umožní věrně zobrazit snímanou scénu. CCD prvek je tvořen maticí světlocitlivých elementů. Výsledný barevný pixel obrazu se pak spočítá ze skupiny takových elementů (zpravidla jde o dva zelené, jeden červený a jeden modrý element).

Podle způsobu čtení informací z elementů se CCD prvky rozlišují na **prokládané** (interlaced)), **progresivní** (progressive) a **s plošným snímáním** (Frame Transfer Device). V prvních dvou případech se elementy snímají postupně a odlišují se pouze způsobem tohoto postupného čtení. Progresivní CCD prvky mají kvalitnější obraz, ale jsou dražší. Při plošném snímání se sejmou všechny elementy najednou - expozice se reguluje elektronicky a je možné okamžitě snímat další obrázek.

V podstatě jde o integrované obvody vyrobené technologií MOS, kovová elektroda M, oxidová izolační vrstva O a vrstva polovodiče S. Základním stavebním blokem je MOS kapacitor, který slouží pro uložení a přesun nábojů. Jejich činnost jako převodníků světelného obrazu na elektrický signál vychází ze dvou základních vlastností:

- prvky CCD jsou schopny vytvářet elektrický náboj v závislosti na míře osvětlení a tento náboj představující elektrický obrazový signál dokáží přesouvat stejně jako v posuvném registru a vysouvat z obvodu ven.
- prvky CCD obsahují velký počet samostatných funkčních buněk představovaných navzájem izolovanými kovovými elektrodami, které společně s izolační vrstvou oxidu křemičitého SiO_2 a souvislou vrstvou základního polovodiče (substrátu) typu P nebo N tvoří miniaturní kondenzátory. Ačkoli princip činnosti prvku CCD vychází z tranzistoru řízených polem se strukturou MOS, neuplatňuje se u nich schopnost zesilovat, ale využívá se schopnost uchovávat a přemisťovat vzniklý elektrický náboj.

2.2.1.1. Buňka CCD



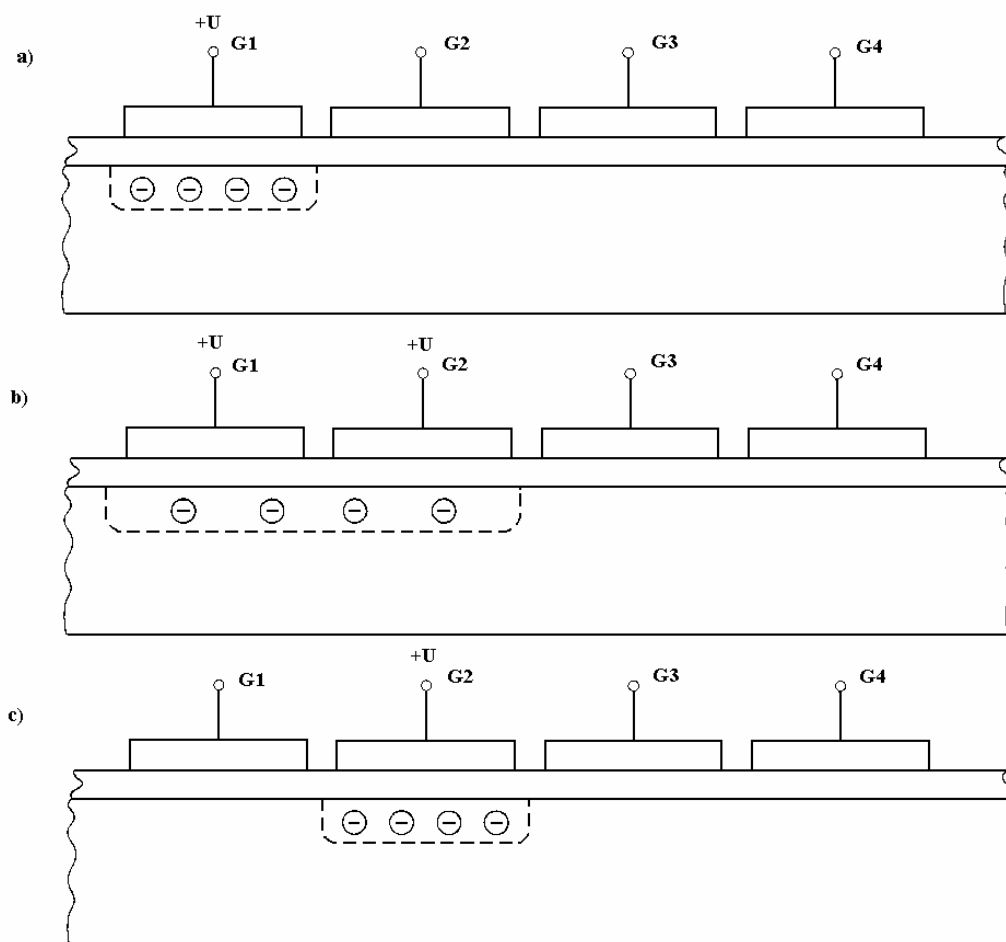
Obr.2.1. buňka CCD

Na obr. 2.1. je znázorněna jedna buňka CCD se základním polovodičivým materiálem s vodivostí typu P. Jestliže se na elektrodu přivede kladné napětí, budou z oblasti pod elektrodou odpuzovány kladné majoritní nosiče (díry) hlouběji do polovodiče. Pod elektrodou vznikne ochuzená oblast, označovaná jako potenciálová jáma, v níž není (téměř) žádný elektrický náboj. Vystavíme-li polovodič vlivu vnějšího osvětlení nebo dopadne-li na něj z objektivu kamery obraz snímaného předmětu, budou v něm v důsledku vnitřního fotoelektrického jevu vznikat volné páry elektron-díra, tedy volné nosiče záporného náboje (elektrony) a kladného náboje (díry).

Vnitřní fotoelektrický jev zvětšuje vodivost polovodičových materiálů, což se využívalo také u vakuových snímacích elektronek typu vidikon (plumbikon, satikon). U prvků CCD se vzniklé volné náboje využívají jiným způsobem. Kladné nosiče jsou odpuzovány od elektrody, záporné nosiče jsou jejím kladným napětím přitahovány a vtaženy do potenciálové jámy. Množství záporných nábojů v jámě je přímo úměrné velikosti osvětlení příslušného obrazového bodu. Užitečný náboj nemůže zůstat v potenciálové jámě libovolně dlouho, protože volné nosiče nábojů vznikají také vlivem teploty. Potenciálová jáma by se teplotními náboji zaplnila za dobu několika desítek milisekund, takže užitečný náboj musí být z prvku CCD rychle odveden jako obrazový signál.

2.2.1.2. Posuv náboje

Mechanismus posuvu náboje je obdobný posuvným registrům, prvky CCD se také často jako posuvné registry využívají. Na obr 2.2. a) je znázorněno několik buněk CCD vedle sebe. Pod elektrodou G1 jsou užitečné náboje, které je třeba posunout směrem k elektrodě G4. Nejdříve přivedeme na elektrodu G2 stejné napětí jako je na G1. Pod elektrodou G2 vznikne další potenciálová jáma, která se spojí s jámou pod G1 (obr. 2.2. b). Ve vzniklé velké jámě se náboje rovnoměrně rozloží. Nyní se musí postupně snižovat napětí na elektrodě G1, potenciálová jáma pod G1 se bude zmenšovat a veškerý náboj přejde pod elektrodu G2 (obr 2.2. c). Postupné snižování napětí na elektrodě G1 je důležité proto, aby se náboje přesunuly směrem k elektrodě G2 a nikoli opačným směrem. Jáma pod G1 se proto zmenšuje pomalu a náboje se doslova přelívají od jedné elektrody k druhé. Uvedený postup se velmi rychle opakuje, dokud se náboj nepřesune až k poslední elektrodě.



Obr. 2.2. Posun náboje

2.2.2. CMOS

CMOS znamená Complementary Metal Oxide Semiconductor. Prvky CMOS se vyrábějí prakticky stejnými postupy, jako běžné procesory či paměti. To umožňuje, že jejich cena je v současné době třetinová proti ceně, kdy byly poprvé uvedeny na trh. Navíc, díky své vnitřní konstrukci, mají podstatně menší spotřebu elektrického proudu. To jsou hlavní důvody, proč se jim předpovídá velká budoucnost. V digitálních fotoaparátech se prvky CMOS poprvé objevily v roce 1998.

2.2.2.1. PPS a APS

Současné CMOS navazují na obdobná zařízení známá už třicet let. Ty nejjednodušší jsou pasivní (PPS - Passive-pixel sensors), která generují elektrický náboj úměrně energii dopadajících paprsků, náboj jde přes zesilovač do analog-digitálního konvertoru jako u běžného CCD. V praxi však dávají tyto pasivní CMOS špatný obraz. Pozornost je proto upřena na aktivní CMOS (APS, Active-pixel sensors). Každá světlocitlivá buňka je doplněna analytickým obvodem, který vyhodnocuje tzv. šum a aktivně ho eliminuje. Moderní CMOS už generují obrázky srovnatelné s levnějšími CCD a lze čekat další vývoj. CCD prvky jsou doprovázeny dalšími čipy – zpravidla každý aparát má minimálně tři další čipy, ale může jich mít až sedm. CMOS umožňují integraci specializovaných čipů, například ke stabilizaci nebo kompresi obrazu. Nevýhodou dosavadních CMOS je jejich malá citlivost na světlo. Je to dáno tím, že obvody omezující šum jsou uvnitř buněk. Nedostatek se řeší přidáním miniaturních čoček ke každé buňce a další miniaturizací kompenzačních obvodů.

2.2.3. Srovnání prvků CCD a CMOS

Všechny typy prvků CCD jsou ve skutečnosti technicky náročné čipy obsahující složité elektronické obvody pro řízení zachyceného světla.

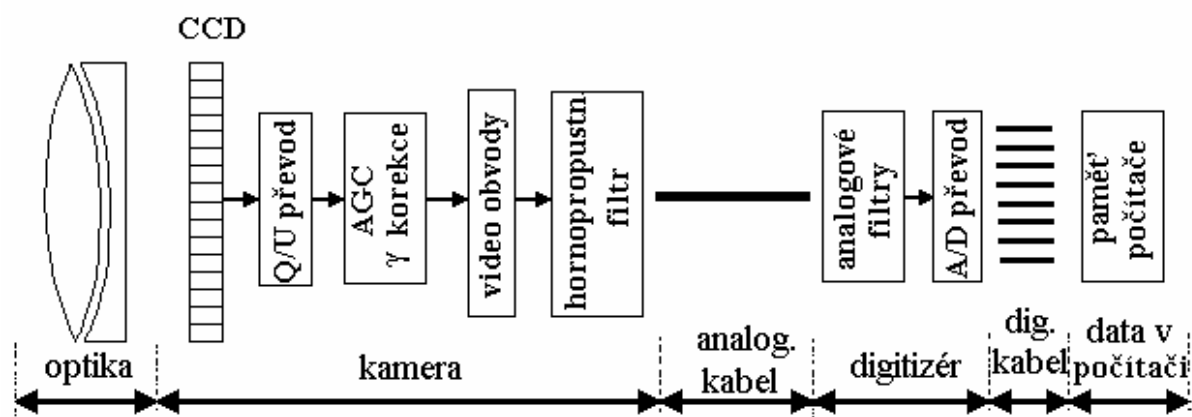
CMOS jsou mnohem jednodušší, ale nejsou tak přesné jako CCD. Proto se řada firem věnuje výzkumu prvků CMOS, neboť v rozvoji této technologie spatřují budoucnost.

2.3. Kamera

Kamera se skládá z optické soustavy (objektivu), vlastního snímače a elektroniky, která dovolí sejmutý obraz předat k dalšímu zpracování. Analogové kamery generují úplný televizní signál, v němž jsou kromě údajů o intenzitě vertikální a horizontální synchronizační pulsy pro postupné vykreslování obrazu po řádcích.

Rozklad obrazu může být s prokládanými řádky jako v televizi (50 pulsů za

sekundu, celý snímek se skládá z 625 řádků) nebo s neprokládanými řádky a vyšší snímkovou frekvencí. U obyčejných analogových CCD kamer se nelze příliš spolehnout na časování, což se projevuje tím, že řádky vůči sobě "plují". Není totiž zaručeno, že na sebe navazují pixely ve svislém směru ve dvou po sobě následujících řádcích. Pro měřicí účely je tato vlastnost důležitá, a proto se zde dnes používají digitální kamery.



Obr. 2.3. Analogová kamera

2.3.1. Analogová kamera

Blokové schéma analogové kamery s CCD čipem je na obr. 2.3. Blok AGC (Automatic Gain Control) mění automaticky zesílení kamery podle množství světla ve snímané scéně. Zesílení se volí jako kompromis mezi dostatečnou citlivostí pro pozorování málo osvětlených míst a snahou nedostat do saturace pixely, které odpovídají jasným místům ve scéně.

Přirozený vývoj vybavil lidské oko schopností snímat intenzitu (jas) v obdivuhodném rozsahu 9 řádů. Této schopnosti je dosaženo tím, že vjem oka je na intenzitě závislý logaritmicky. Obvyklé kamery jsou schopny snímat rozsah intenzit mezi dvěma a čtyřmi řády.

V kamerách bývá další blok označovaný γ korekce, který umožňuje nelineárně transformovat jasovou stupnici. Nutnost zavést v zobrazovacím řetězci γ korekci, má původ v televizní technice s vakuovými obrazovkami. Závislost mezi mřížkovým předpětím vakuové elektronky U a výslednou září L (\sim jas) luminoforu obrazovky je exponenciální, $L = U^\beta$. Typická hodnota β je 2,2. Průběh je tedy přibližně parabolický. U modernějších plochých LCD (z angl. Liquid Crystal Display) monitorů je závislost jasu na vstupním napětí lineární. Aby zůstal přenos celého zobrazovacího řetězce s vakuovou obrazovkou lineární, je nutno tuto citlivost kompenzovat inverzní křivkou.

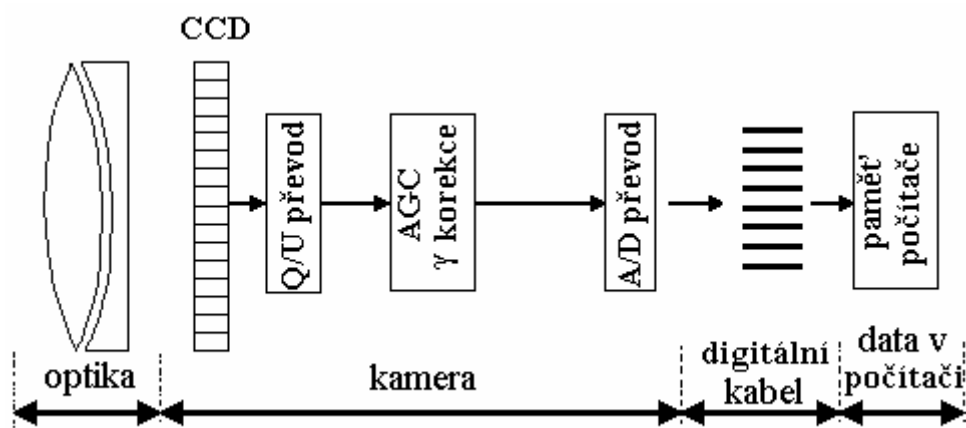
V dobách počátku analogové televize bylo levnější vložit kompenzační obvod do

snímací kamery místo jeho použití v masově vyráběném televizním přijímači, čímž došlo ke snížení jeho ceny. Díky požadavkům na zpětnou kompatibilitu se tento konstrukční prvek uplatňuje dodnes. V kameře bývá obvod upravující závislost výstupního napětí kamery U_k na vstupní záři E , $U_k = E^{1/\beta} = E^\gamma$. Hodnota γ pro typickou hodnotu β je tedy $\gamma = 1/2,2 \approx 0.45$. V některých kamerách bývá hodnota, nastavitelná v rozsahu zhruba (0,1). Hodnota $\gamma = 1$ odpovídá vypnuté γ korekci. Pro potřebnou kalibraci je nutné mít možnost AGC a γ korekci vypnout. U lepších kamer je to řešeno vnějším ovládacím prvkem. U levnějších je nutný zásah do elektroniky kamery. Videoobvody doplňují informaci o intenzitě synchronizační směsí. Hornopropustný (derivační) filtr zdůrazňuje vysoké frekvence a tak kompenzuje nežádoucí příspěvek dolnoproústných filtrů způsobujících rozmazání při průchodu signálu vzduchem a v optice.

Dále je analogový televizní signál (obvykle koaxiálním kabelem) veden do digitizéru umístěného v počítači. Analogové filtry na vstupu digitizéru hornopropustným filtrem částečně kompenzují ztrátu vysokých frekvencí v kabelu.

2.3.2. Digitální kamera

Blokové schéma digitální kamery je na obr. 2.4. Vstupní převod náboje fotonu na napětí a případné AGC či γ korekce je stejná jako u analogových kamer. Analogově číslicový převodník získá z intenzity světla číslo, které je dále zpracováno v počítači. Pro připojení se používá buď paralelní nebo sériový způsob využívající protokol IEEE 1394 (fire wire) nebo USB. V případě paralelního připojení je nevýhodou požadavek na krátký kabel (délka okolo 1m). Porovnání vlastností analogových a digitálních kamer je uvedeno v tabulce.



Obr. 2.4. Digitální kamera

2.3.3. Porovnání analogové a digitální kamery

Analogové kamery

- + Levné.
- + Lze dlouhý kabel (až 300 m).
- Vícenásobné převzorkování signálu.
- Šumící z důvodu analogového přenosu
- Nenavazující řádky (angl. jitter).

Digitální kamery

- Dražší, ale cena rychle klesá.
- Kratší kabel (až 4,5 m u Firewire, ale po převodu na optický kabel až kilometry).
- + Jediné převzorkování.
- + Bez posunu řádku. Žádný šum při přenosu.
- + Navazující řádky.

2.3.4. Řádkové CCD kamery

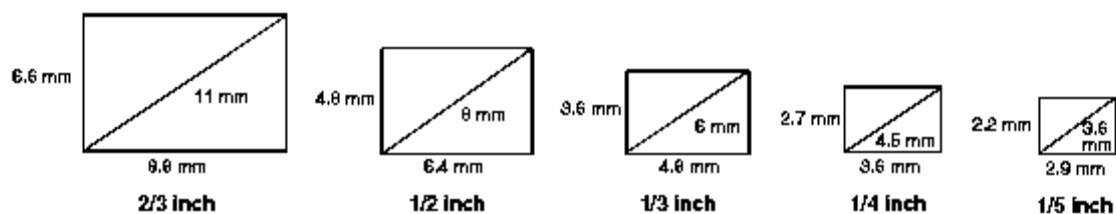
Řádkové CCD kamery obsahují řádkový CCD snímač. Forma jejich výstupního signálu není standardizována. Často se používá pozitivní videosignál upnutý k nule s amplitudou pohybující se v rozmezí 0 V do 1 V. Slovem pozitivní se označuje, že větší úrovní osvětlení odpovídá větší (kladné) napětí. Výstupní zesilovač předpokládá připojení zátěže 75 Ω . Pro takovou formu výstupu se používá zkráceného označení 1 V/ 75 Ω . Řádkové kamery mívají vstupy a výstupy pro připojení logických řídicích signálu, jimiž se řídí rychlost vyčítání snímače, doba akumulace nábojů, doba aktivace elektronické závěrky. Řádkové kamery také často obsahují blok digitalizace videosignálu a někdy též blok číslicového zpracování obrazu. Pro přenos digitalizovaného signálu do nadřazeného počítače se používají paralelní rozhraní s reprezentací signálu podle standardu RS - 422. Blok číslicového zpracování videosignálu nejčastěji umožňuje ve snímaném obrazu najít optické přechody typu "černá" - " bílá" a určit jejich vzdálenosti.

2.3.5. Plošné CCD kamery pro snímání podle TV standardů

Tyto kamery používají plošné CCD snímače. V zásadě existuje několik typu plošných kamer, lišících se vlastnostmi snímače, jeho rozměry a předpokládaným použitím. Doposud nejrozšířenější jsou plošné CCD kamery, jejichž výstupní videosignál se řídí podle některého z televizních standardu. Pro černobílý signál to je norma CCIR a EIA. V případě barevných kamer to je norma PAL a NTSC. Standardy CCIR a PAL jsou používány především v Evropě, standardy EIA a NTSC především v USA.

2.3.5.1. Formáty CCD snímačů pro plošné kamery

Plošné CCD snímače, které jsou určeny pro kamery s výstupním signálem podle některého z TV standardu, např. černo - bílé CCIR (EIA), nebo barevné podle standardu PAL (NTSC), mají délky stran v poměru 4 : 3. Smluvní formáty se udávají ve zlomcích palce, i když ve skutečnosti tomu rozměry neodpovídají. Historicky údaje formátů vycházejí z rozměru palcových vakuových snímačů, kde byl průměr skleněné válcové banky této elektronky 1" (25,4 mm). Tomu odpovídaly rozměry snímacího pole: úhlopříčka 16 mm, strany 12,8 x 9,6 mm. Z toho se dle obr. 2.5 odvozují rozměry CCD snímačů uvedené v milimetrech. Často používané formáty jsou 1/2" a 1/3" a nyní také 1/4" a částečně i 1/5".



Obr. 2.5. Formáty CCD snímačů

3. Zpracování obrazu

Dalším krokem je zpracování obrazu, který má obraz upravit do podoby vhodné pro účel dané analýzy.

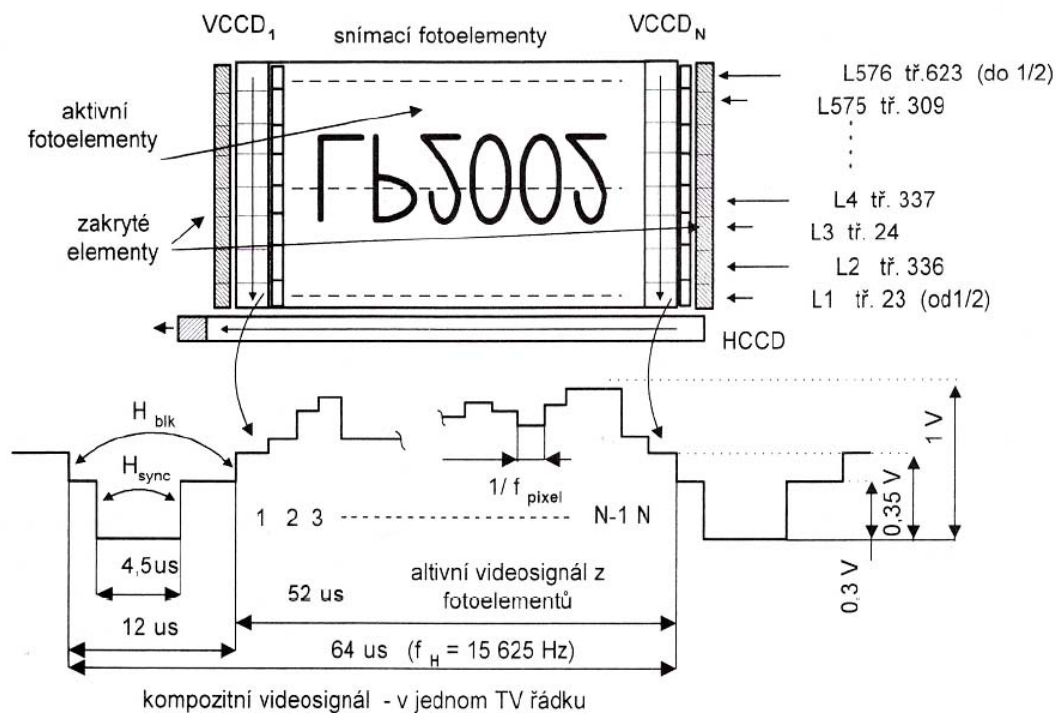
3.1. Norma PAL a CCIR

Tyto normy jsou používány především v Evropě.

3.1.1. Tvorba televizního řádku podle standardu CCIR

Na obr.3.1. je znázorněna tvorba videosignálu CCD kamerou v jednom televizním řádku podle standardu CCIR. Na výstupu kamery je pozitivní videosignál přenášený po jednotlivých řádcích (dále *t.r.*) o úrovni $1V / 75 \Omega$.

U plošných televizních kamer se řídicí impulsy nepřenášejí žádnými dalšími kanály, ale vkládají se ve formě synchronizačních impulsu do videosignálu. Na začátku každého televizního řádku (dále t.ř.) je *řádkový* (horizontální) *synchronizační impuls* H_{syn} a *řádkový zatemňovací impuls* H_{blk} . V *aktivním běhu řádku* se během času cca $52 \mu s$ přečte informace z celého jednoho řádku (linky) CCD snímače. Videosignál podle standardu CCIR obsahuje v jednom snímku 625 t.ř.. (které jsou číslovány od 1 do 625) s řádkovou frekvencí $f_h = 15\,625$ Hz. Celý televizní snímek se objeví za 40 ms, což odpovídá snímkové frekvenci 25 Hz. Při zobrazení na monitoru by to vedlo k rušivému blikání. Proto je celý snímek rozdělen do dvou *proložených půlsnímků* (*interlaced*), každý s 312,5 t.ř., kde lichému půlsnímku přísluší t.ř. 1 až t.ř. 312,5, a sudému půlsnímku t.ř. 312,5 až 625. Frekvence půlsnímku je 50 Hz.



Obr. 3.1 Tvorba videosignálu

Aktivní videosignál přenášející informaci z CCD snímače je však přítomen pouze v části televizních řádků, která je určena rozmezím od poloviny 23. t.ř.. do 309. t.ř.. a od 336. t.ř.. do poloviny 623. t.ř..

Přenos lichého pulsničku z kamery sice začíná t.ř.. 1, ale aktivní videosignál z linky *L1* CCD snímače se začíná ve videosignálu objevovat až v polovině t.ř. 23. (první polovina *L1* je tak nevyužita). V t.ř.. 24 se čte z linky *L3* CCD snímače a poslední aktivní řádek se signálem linky *L575* je v t.ř.. 309.

Signál jednotlivých pulsničků je oddělen pulsničkovými (vertikálními) synchronizačními impulsy - V_{sync} (nejsou zde znázorněny). Aktivní videosignál z *L2* se v sudém pulsničku objevuje v t.ř.. 336, následuje t.ř.. 337 se signálem z *L4*. Aktivní videosignál sudého pulsničku končí v polovině t.ř. 623 (druhá polovina *L576* je tak nevyužita).

CCD snímače pro kamery podle standardu CCIR mají 576 počet aktivních řádků. Obraz podle TV standardu má délky stran 4:3. Pokud by elementy snímače byly ve čtvercovém rastru, obsahoval by každý řádek $N = 768$ fotoelementů. V jednoduchých kamerách se počet fotoelementů v řádku pohybuje v rozmezí 500 až 760. Na krajích každého řádku jsou navíc umístěny zakryté elementy, které se využívají pro nastavení stejnosměrných úrovní ve videosignálu (upínání). Rozlišovací schopnost kamery v horizontálním směru se

často udává v počtu televizních řádků podle vztahu n_r (576/768), kde n_r je počet bodů (střídavé černý a bílý bod), které je kamera schopna v jednom řádku rozlišit. Přesné určení velikosti n_r souvisí s tzv. *Nyquistovou frekvencí a modulační přenosovou funkcí* CCD snímače i celé kamery. Pro případ černo – bílé CCD kamery je možno v přiblížení položit $n_r = N$. Tedy kamera, u které je udávána rozlišovací schopnost 380 řádků, by měla rozlišit asi 500 bodů. Často má tento údaj pouze význam sdělení, že CCD snímač kamery obsahuje v řádku 500 snímacích fotoelementů.

3.1.2. Barevný signál PAL

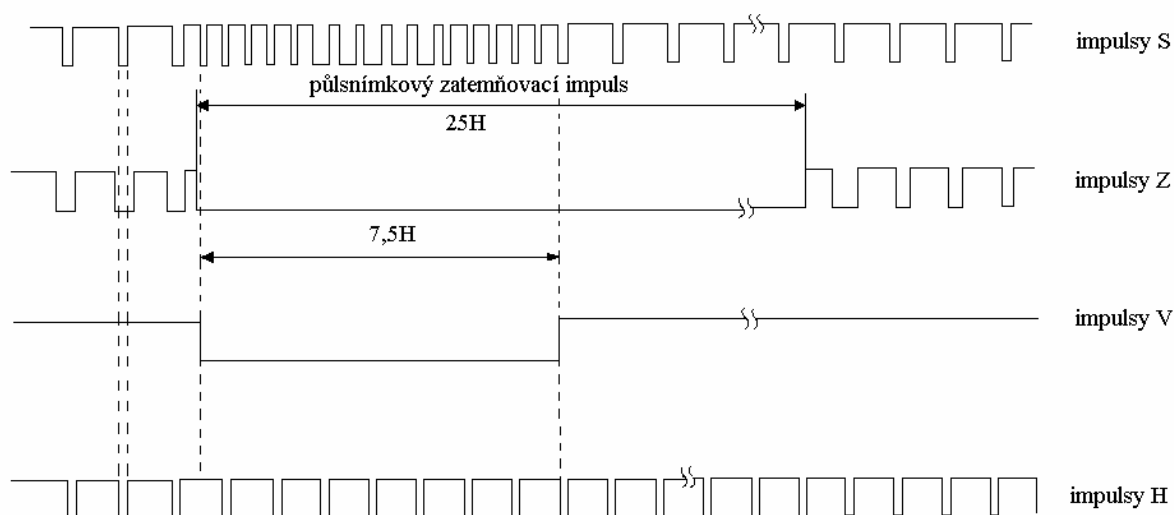
Barevný signál podle standardu PAL má obdobné časové parametry. Shoduje se tvar synchronizačních impulsů, řádkového i pulsnímkového. Navíc je v intervalu po řádkovém synchronizačním impulsu v zatemňovacím impulsu přenášen synchronizační impuls (burst) barvonosného signálu o kmitočtu 4,43 MHz. Ve videosignálu je mimo jasové složky za pomoci fázové modulace přenášena i barvonosná složka.

3.2. Televizní norma

Televizní signál je normalizován. Televizní norma určuje vztahy mezi amplitudou obrazové modulace a synchronizační směsí a stanoví časové rozdělení a trvání zatemňovacích a synchronizačních impulsů. Vrcholkům synchronizačních impulsů přisuzujeme 100% amplitudy, úrovní zatemňování, tj. přibližně úrovní černé, 75% amplitudy a bílé mu obsahu obrazu 10% amplitudy. Takto probíhající modulační signál považujeme za kladný. Jeden řádek trvá 64 μ s. Na řádkový zatemňovací impuls připadá 16 až 18% z doby celého řádku. Jeden pulsnímek trvá 20ms (50 pulsnímků za 1s). Pulsnímkový zatemňovací impuls se svou délkou rovná 25 řádkům. Televizní norma má pro zabezpečení dobrého prokládaného řádkování v tomto zatemňovacím impulsu 5 vyrovnávacích impulsů. Jejich opakovací doba řádkování je 32 μ s tzn., že mají dvojnásobný kmitočet. Potom následuje 5 udržovacích impulsů (široké snímkové). Mezera mezi nimi se přibližně rovná šířce řádkového impulsu. Dalších 17,5 řádků je zatemněna nebo určena pro měřicí účely, přenos dat (teletext).

3.3. Synchronizační signály

Televizní zařízení jsou impulsivní povahy, jejich synchronní činnost je zajišťována řídicími (taktovacími) impulsy. U černobílé televize se používají čtyři typy základních řídicích impulsních signálů podle obr. 3.2.



Obr. 3.2. Synchronizační impulsy

impulsy H - řádkové (horizontální) řídící impulsy s kmitočtem $f_H = 15625\text{Hz}$

impulsy V – pulsímkové (vertikální) řídící impulsy s kmitočtem $f_V = 50\text{ Hz}$ (perioda 20ms)

impulsy Z – zatemňovací směs obsahující řádkové a pulsímkové zatemňovací impulsy

impulsy S – synchronizační směs obsahující řádkové a pulsímkové synchronizační impulsy včetně vyrovnávacích a udržovacích impulsů

Základním kritériem souběhu černobílých obrazových signálů je souhlasný dvoupulsímkový sled, tj. shodné střídání lichých a sudých pulsímků,, přičemž řádkové i pulsímkové impulsy všech signálů v souběhu musí mít shodný okamžitý kmitočet a fázi.

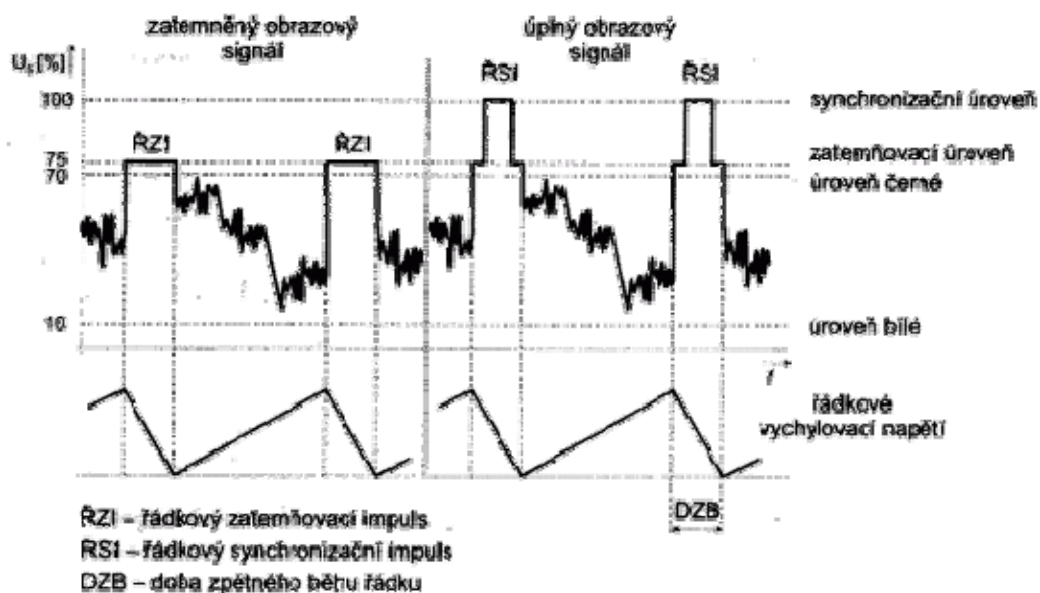
3.4. Dynamické obrazy

Pomocí televizního signálu se přenášejí pohyblivé (dynamické) obrazy. Měníčem zprávy na vysílací straně je televizní kamera, na přijímací straně obrazový monitor anebo obrazová část televizního přijímače.

Obraz snímané scény se rozkládá na obrazové řádky, jejichž počet je dán příslušnou normou. Postupně se snímají nejprve liché a potom sudé řádky (pulsímký). Skladba úplného obrazového signálu závisí na televizní normě.

Obrazový signál má složku jasovou (luminiscenční) a barvonosnou (chromizační). Jasová složka obrazu je většinou vyjádřena negativní polaritou, tj. bílá barva scény se elektricky vyjadřuje nižším napětím (10% maxima). Televizní signál kromě toho obsahuje ještě

zatemňovací (75%) a synchronizační (100%) signály. Časový průběh části videosignálu principálně ukazuje obrázek. Normy (ITU-R D/K) dále definují obdélníkový rastr obrazu (4:3 nebo 16:9), počet obrazových řádků (625), počet nezatemněných řádků (575), počet snímků za sekundu (25) a z toho vyplývající šířku televizního kanálu:



Obr. 3.3. Televizní Pásmo: 50 Hz až 6MHz

3.5. Digitální obraz

Základním předpokladem pro aplikaci obrazové analýzy je převedení snímku, který chceme analyzovat, do digitální podoby. Dalším krokem je zachytit analogový obraz, jehož jas je spojitou funkcí pozice, a převést ho do digitální podoby. Digitalizace ve své podstatě představuje proces, kdy je obraz rozčleněn pravidelnou sítí na přesně definované čtvercové nebo obdélníkové oblasti, ve kterých je stanovena, v případě snímků z CCIR kamer, průměrná hodnota šedi. Tyto oblasti se označují jako pixely a jejich počet vyplývá z hustoty sítě. Samotná digitalizace u CCIR kamer, nebo PAL kamer, spočívá přímo v digitalizování signálu vystupujícího z kamery a uložit jej v počítači.

3.5.1. Digitalizace

Čidla pro vstup obrazové funkce $f(x, y)$ jsou většinou zdrojem spojitého signálu. Abychom obrazovou funkci mohli zpracovat v počítači, musíme ji digitalizovat. Digitalizace spočívá ve vzorkování obrazu v matici $M \times N$ bodů a v kvantování spojitě jasové úrovně každého vzorku do K intervalů. Díky kvantování nabývá jasová funkce v digitalizovaných

obrazech celočíselných hodnot.

3.5.2. Interval vzorkování

Jednak je třeba určit *interval vzorkování*, což je vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Otázku vzdálenosti vzorku (nebo jinak řečeno plošné vzorkovací frekvence) řeší Shannonova věta o vzorkování. Vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší než nejvyšší zajímavá frekvence ve vzorkovaném signálu. Interval vzorkování se musí volit tak, aby byl menší nebo roven polovině rozměru nejmenších detailů v obraze. Při zpracování obrazu je rozumné vzorkovat alespoň 5-krát jemněji než je teoretická mez dána vzorkovací větou.

3.5.3. Vzorkovací mřížka

Druhou otázkou je *výběr vzorkovací mřížky*, tj. plošného uspořádání bodu při vzorkování. Obvykle se používá pravidelná mřížka. Existují jen tři pravidelné mnohoúhelníky, jejichž síť úplně pokrývá rovinu, a to rovnostranné trojúhelníky, čtverce a pravidelné šestiúhelníky. V praxi se nejvíce používá čtvercová mřížka, i když je příčinou problému se spojitostí oblastí. Jednomu vzorkovacímu bodu odpovídá v digitalizovaném obraze obrazový element, *pixel*. Po uspořádání do vzorkovací mřížky pokrývají pixely celý digitalizovaný obraz.

3.5.4. Kvantování

Další součástí procesu digitalizace je *kvantování obrazové funkce*. Amplituda ve vzorkovaném obraze musí být pro zpracování počítačem vyjádřena jako digitální údaj. Počet kvantovacích úrovní má být dostatečně velký, aby byly přesně vyjádřeny jemné detaily obrazu, nevznikaly falešné obrysy a aby se citlivost zařízení blížila citlivosti lidského oka. Binární obrazy reprezentují informaci o obrazovém bodě jediným bitem. Jen ve specializovaných měřicích systémech se jeden vzorek obrazu reprezentuje 12 a více bity.

3.6. Matematická morfologie

Po digitalizaci máme obraz ve formě digitální mapy uložen v paměti počítače. Prvním úkolem analýzy bývá potlačování dvourozměrného šumu, kterým může být zatížen buď již původní obraz nebo vznikl ve fázi digitalizace. Zde se většinou používá dvourozměrná obdoba algoritmů používaných při potlačování šumu experimentálních dat (Fourierova transformace, apod.), případně speciální metody matematické morfologie (dilatace a erose).

Matematická morfologie svým matematickým aparátem vycházejícím z algebry nelineárních operací do značné míry při zpracování signálu či obrazu předstihuje tradiční lineární přístup, který využívá lineární kombinaci (konvoluci) bodových zdrojů představovaných Diracovými impulsy. Jde např. o předzpracování obrazu, o segmentaci s důrazem na tvar hledaných objektu, o kvantitativní popis nalezených objektu. Operátory matematické morfologie se obvykle používají tam, kde je požadavek na krátký čas zpracování. Aplikačními oblastmi jsou biologie, materiálový výzkum, geologie, kriminalistika, obrazová inspekce v průmyslu, rozpoznávání znaku a dokumentu, aj.

3.6.1. Základní morfologické pojmy

Matematická morfologie využívá vlastností bodových množin, výsledky z integrální geometrie a topologie. Výchozím předpokladem je představa, že. reálné obrázky lze modelovat pomocí *bodových množin* libovolné dimenze (např. N-rozměrný euklidovský prostor). Dvojměrný euklidovský prostor \mathbb{R}^2 a systém jeho podmnožin je přirozeným definičním oborem pro popis rovinných útvarů. Základní množinové pojmy: podmnožina (\subset nebo \supset), průnik (\cap), sjednocení (\cup), prázdná množina \emptyset a množinový doplněk (c).

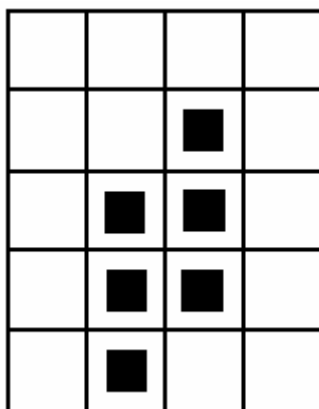
$$\text{Množinový rozdíl } X/Y = X \cap Y^c$$

Pro binární matematickou morfologii zpracovávající dvojúrovňový obrázek je základním popisným kamenem množina dvojic celých čísel ($\in \mathbb{Z}^2$). Pro šedotónovou matematickou morfologii zpracovávající obrázek s více úrovněmi jasu jsou základem popisu trojice ($\in \mathbb{Z}^3$). Na binární obrazy lze nahlížet jako na podmnožinu 2D prostoru všech celých čísel, \mathbb{Z}^2 . Bod (pixel) je reprezentován dvojicí celých čísel vzhledem ke dvěma souřadným osám diskrétní mřížky.

3.6.2. Binární obraz

Binární obraz lze vyjádřit jako 2D bodovou množinu. Body objektu v obraze reprezentují množinu X , což odpovídá pixelům s hodnotou jedna. Body doplňku X^c popisují pozadí a reprezentují se pixely s hodnotou nula. Počátek má souřadnice (0,0) a souřadnice ostatních bodů (x, y) mají stejný význam, jako je v matematice obvyklé. Obr. 3.4. ukazuje příklad bodové množiny. Body objektu jsou zapsány jako malé černé čtverce. Každý bod x diskrétního obrazu, např. $X = \{(1, 0), (1, 1), (2, 1), (1, 2), (2, 2), (2, 3)\}$ se může chápat jako

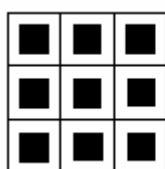
radiusvektor vzhledem k počátku (0,0).



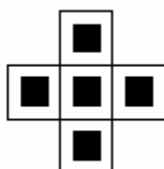
Obr. 3.4 Bodová množina

3.6.3. Morfologická transformace Ψ

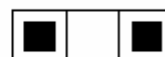
Morfologická transformace Ψ je dána relací mezi obrazem (bodová množina X) s jinou, typicky menší bodovou množinou B , které se říká *strukturní element*. Strukturní element B je vztažen k "lokálnímu" počátku O , kterému se říká reprezentativní bod. Některé typické strukturní elementy jsou na obr. 3.5. Obrázek 3.5. © ukazuje nepříliš žádoucí případ, kdy reprezentativní bod O není bodem strukturního elementu B .



a)



b)



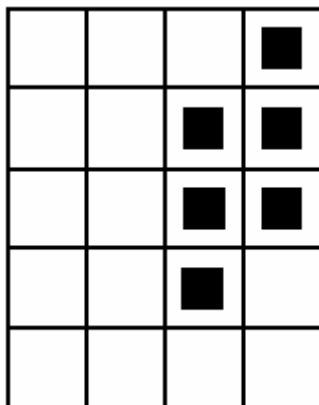
c)

Obr. 3.5. Strukturní element

Aplikaci morfologické transformace $\Psi(X)$ na obraz X si můžeme představit, jako bychom strukturní element B systematicky posouvali po obraze. Uvažujme, že B je umístěn v nějaké poloze v obraze. Výsledek relace mezi obrazem X a strukturním elementem B se zapíšeme do výstupního obrazu v reprezentativním pixelu. Pro binární obrazy je výsledek relace buď 0 nebo 1. *Dualita* morfologických operací vyplývá z množinového doplňku. Ke každé morfologické transformaci $\Psi(X)$ existuje duální transformace $\Psi^*(X)$,

$$\Psi(X) = (\Psi^*(X^c))^c$$

Translace bodové množiny X o radiusvektor h se označuje X_h a je definována vztahem



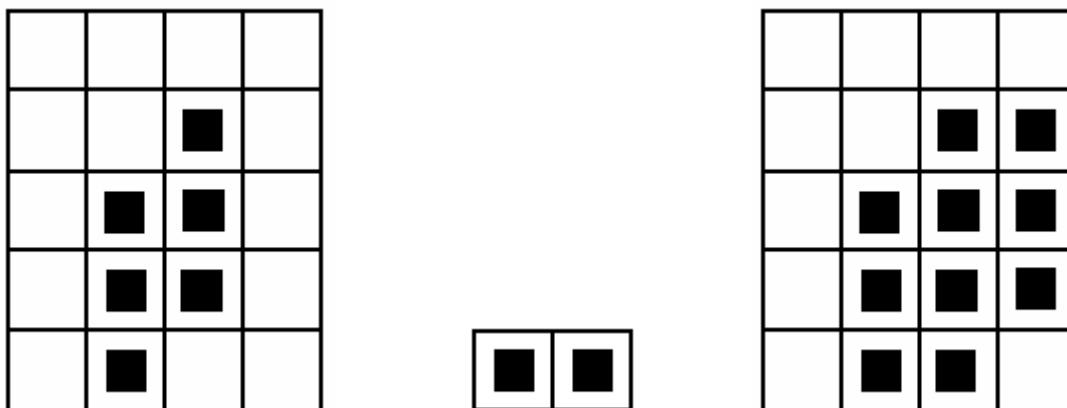
Obr. 3.6. Translace o vektor (1,1)

Základními transformacemi matematické morfologie jsou dilatace, eroze, otevření a uzavření.

3.6.4. Dilatace

Dilatace \oplus skládá body dvou množin pomocí vektorového součtu $(a, b) + (c, d) = (a+c, b+d)$. Dilatace $X \oplus B$ je bodovou množinou všech možných vektorových součtů pro dvojice pixelů, vždy pro jeden z množiny X a jeden z množiny B

$$X \oplus B = \{p \in \mathcal{E}^2 : p = x + b, x \in X, b \in B\}$$



Obr. 3.7. Ukázka dilatace

$$X = \{(1,0), (1,1), (2,1), (1,2), (2,2), (2,3)\}$$

$$B = \{(0,0), (1,0)\}$$

$$X \oplus B = \{(1,0), (2,0), (1,1), (2,1), (3,1), (1,2), (2,2), (3,2), (2,3), (3,3)\}$$

3.6.4.1. Užití dilatace

Dilatace se používá samostatně k zaplnění malých děr, úzkých zálivů a jako stavební kámen složitějších operací. Dilatace zvětšuje objekty, tzn. že objekty se rozrostou o jednu "slupku" na úkor pozadí. Dilataci s isotopickým strukturním elementem 3x3 si můžeme představit jako transformaci, která změní všechny body pozadí sousedící s objekty na body objektu. Pro zachování původních rozměrů se dilatace kombinuje s erozí.

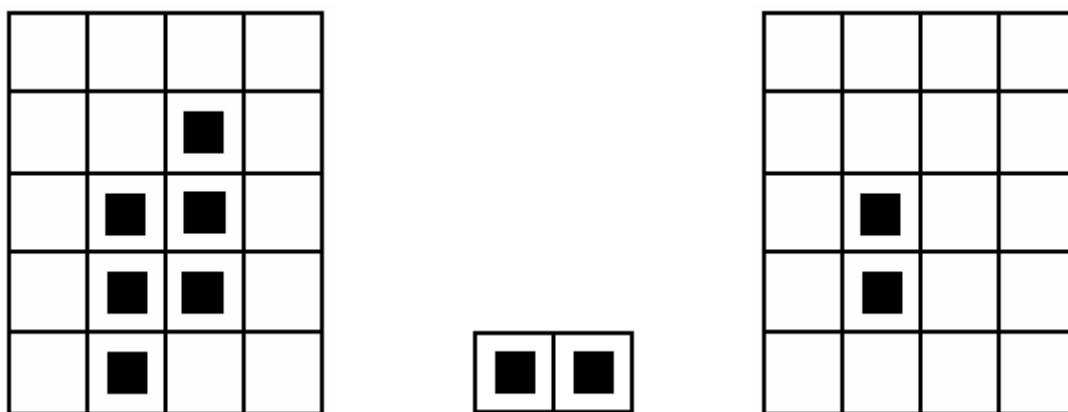
Isotopický strukturní element, znamená, že se morfologická transformace chová stejně ve všech směrech, tj. objekty expandují.

3.6.5. Eroze

Eroze O je duální operací k dilataci. Ani dilatace ani eroze nejsou invertovatelné. Eroze skládá dvě množiny podle předpisu

$$X \circ B = \{p \in \varepsilon^2 : p + b \in X \text{ pro každé } b \in B\}$$

Tento vztah říká, že pro každý bod obrazu p se ověřuje, zda pro všechna možná $p + b$ leží výsledek v X . Pokud ano, zapíše se v reprezentativním bode do výsledného obrázku 1 a v opačném případě 0. Obr. 3.8. ukazuje bodovou množinu X erodovanou strukturním elementem B , který není všesměrový. Svislá čára zmizí.



Obr. 3.8. Ukázka eroze

$$X = \{(1,0), (1,1), (2,1), (1,2), (2,2), (2,3)\}$$

$$B = \{(0,0), (1,0)\}$$

$$X \circ B = \{(1,1), (1,2)\}$$

3.6.5.1. Užití eroze

Eroze se používá pro zjednodušení struktury objektu - objekty tloušťky 1 se ztratí, a tak se složitější objekt rozdělí na několik jednodušších.

3.6.6. Otevření a uzavření

Dilatace a eroze nejsou navzájem inverzní zobrazení. Jejich kombinace jsou dalšími významnými morfologickými transformacemi - otevřením a uzavřením. Výsledkem obou je zjednodušený obraz, který obsahuje méně detailů.

3.6.6.1. Otevření

Eroze následovaná dilatací vytváří novou transformaci zvanou *otevření*. Otevření množiny X strukturním elementem B se označuje $X \circ B$ a je definováno jako

$$X \circ B = (X \circ B) \oplus B$$

3.6.6.2. Uzavření

Dilatace následovaná erozí je uzavřením. *Uzavření* množiny X strukturním elementem B se označuje $X \bullet B$ a je definováno jako

$$X \bullet B = (X \oplus B) \circ B$$

Pokud se obraz X nezmění po otevření strukturním elementem B , říkáme, že je obraz X otevřený vzhledem k B . Podobně, pokud se obraz X nezmění po uzavření strukturním elementem B , říkáme, že je uzavřený vzhledem k B .

Otevření a uzavření izotopickým strukturním elementem se používá pro odstranění detailů v obraze, které jsou menší než strukturní element. Celkový tvar objektu se tak neporuší. Otevření oddělí objekty spojené úzkou šíjí a tak zjednoduší strukturu objektů. Uzavření spojí objekty, které jsou blízko u sebe, zaplní malé díry a vyhladí obrys tím, že zaplní úzké zálivy. "Malý", "blízký" a "úzký" je relativní vzhledem k velikosti strukturního elementu. Na rozdíl od eroze a dilatace je otevření a uzavření invariantní vzhledem k posunu

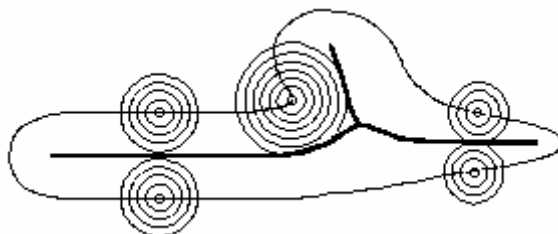
strukturního elementu. Otevření i uzavření jsou rostoucí transformace. Otevření je antiextenzivní $X \circ B \subseteq X$ a uzavření je extenzivní $X \subseteq X \bullet B$. Otevření a uzavření, podobně jako dilatace a eroze, jsou duálními transformacemi. $(X \bullet B)^c = X^c \circ B$.

Další důležitou vlastností otevření a uzavření je idempotentnost, což znamená, že opakované použití těchto operací nemění předchozí výsledek. Proto má smysl mluvit o otevřené či uzavřené množině vzhledem ke strukturnímu elementu B . Pak

$$X \circ B = (X \circ B) \circ B \quad X \bullet B = (X \bullet B) \bullet B$$

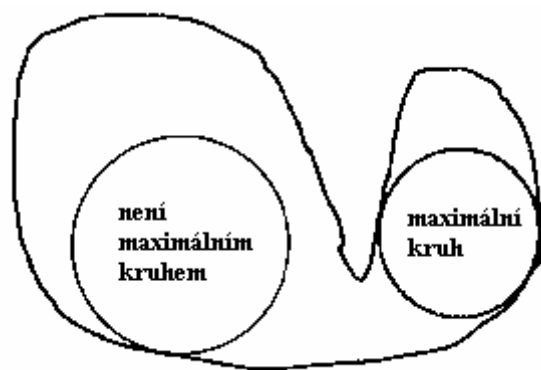
3.6.7. Skelet, maximální kruh

Skelet = kostra objektu. První kdo přišel s myšlenkou skeletu ve zpracování obrazu byl H. Blum. Svoji ideu znázornil představou o požáru trávníku. Oblastí, bodovou množinou $X \subset \mathbb{R}^2$, je suchý trávník který zapálíme v jednom okamžiku po celém obvodu. Předpokládejme, že se oheň šíří konstantní rychlostí. Skelet takovéto množiny $S(X)$ budou tvořit všechny body, kde se setkají dva a více ohňů, viz obrázek 3.9.



Obr. 3.9. Skelet

Definice skeletu se opírá o pojem maximálního kruhu (3D - koule). Kruh $B(p, r)$ se středem p a poloměrem $r, r \geq 0$, je množina bodů, jejichž vzdálenost d od středu je menší nebo rovna r . Kruh B vepsaný do množiny X se nazývá maximálním kruhem, právě tehdy když se hranice množiny dotýká ve dvou a více bodech, což znamená, že pro dané místo dotyku již kruh nelze zvětšit. Pro představu vepsaného a maximálního vepsaného kruhu je znázorněna na obr. 3.10.



Obr. 3.10. Maximální kruh

Pro diskrétní obrazy závisí definice vzdálenosti na použité mřížce a definici souvislosti. Různé kruhy o jednotkovém poloměru jsou znázorněny na obr. 3.11.

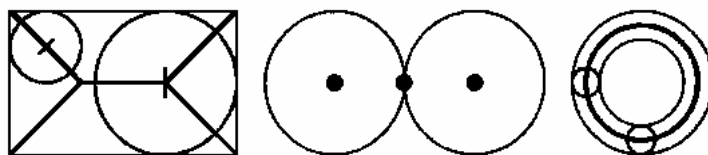


Obr. 3.11. Jednotkový kruh

Rovina R^2 s euklidovskou vzdáleností implikuje kruh B_E . Pro diskrétní rovinu Z^2 se obvykle používají tři definice vzdálenosti. Pro hexagonální mřížku 6-souvislost získáme hexagonální kruh B_H . Je-li definičním oborem čtvercová mřížka, potom můžeme dostat dva kruhy B_4 pro 4-souvislost a B_8 pro 8-souvislost. *Skelet pomocí maximálních kruhu* $S(X)$ množiny $X \subset Z^2$ je množina středu p maximálních kruhů:

$$S(X) = \{p \in X : \exists r \geq 0, B(p, r) \text{ je maximální kruh množiny } X\}$$

Tato definice je v euklidovské rovině přirozená. Skeletem kruhu je jeho střed, proužek se zaoblenými konci je převeden na tenkou čáru uprostřed proužku, atd.



Obr. 3.12. Ukázka skeletu

Na obr. 3.12. je uvedeno několik objektů se skelety. Euklidovský skelet dvou dotýkajících se kruhů je tvořen třemi body, dva jsou ve středu kruhu a třetí v místě jejich dotyku, protože sem lze vepsat nekonečně malý kruh, který se dotýká obou kruhu.

Skelet zavedený pomocí vpisovaných maximálních kruhů má z hlediska aplikací dvě nepříznivé vlastnosti. Za prvé, ne vždy zachovává homotopii původní množiny (viz skelet dotýkajících se kruhů). Za druhé, v diskrétní mřížce mohou vycházet skelety s tloušťkou větší než jeden pixel.

Skelet pomocí maximálních kruhů lze stanovit jako sjednocení reziduí transformace otevření množiny X pro různá měřítka (zde dána poloměrem kruhu)

$$S(X) = \bigcup_{n=0}^{\infty} ((X \circ nB) \setminus (X \circ (n+1)B))$$

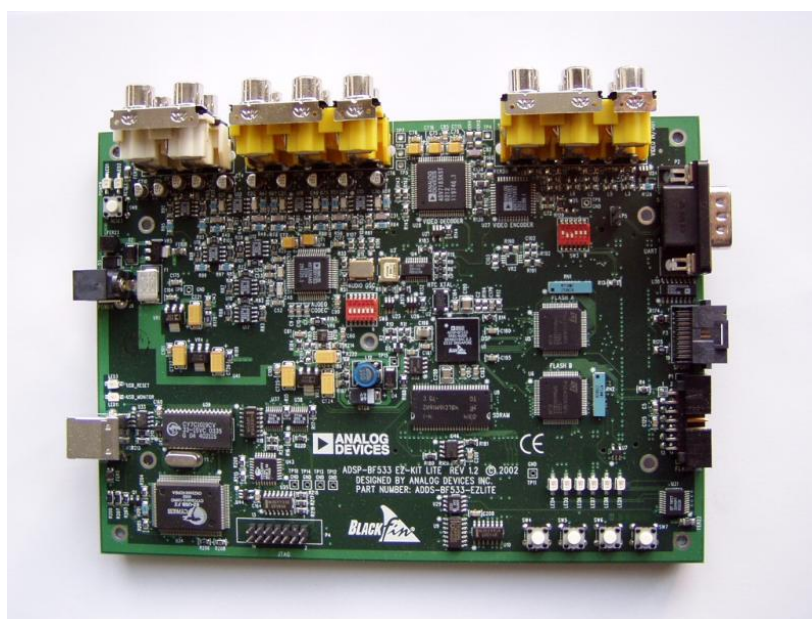
Problémem je, že výsledný skelet je nesouvislý a tudíž v mnoha aplikacích nepoužitelný. Proto se většinou dává přednost *homotopickému skeletu*, který z definice souvislost zachovává.

4. Signálový procesor

Signálové procesory tvoří jádro mnoha aplikací ve spotřební elektronice, v telekomunikacích, v medicíně a v průmyslu. Jejich specializovaný hardware a instrukční soubor jim umožňuje účinně provádět matematické výpočty, které se objevují v metodách číslicového zpracování signálů. Stručně lze říci, že signálový procesor je mikroprocesor nebo mikroprocesorový systém, který je přizpůsoben pro efektivní realizaci algoritmů číslicového zpracování signálů v reálném čase s co nejmenšími vynaloženými náklady.

4.1. ADSP BlackFin 533

V tomto případě jde o vývojový kit od firmy Analog Devices, na bázi signálového procesoru BlackFin 533, viz obr. 4.1., který je vhodný jak pro zpracování signálů z audio vstupů, tak pro zpracování videa. Kit má na sobě implementovány video encoder ADV7171 a video decoder ADV7183.



Obr. 4.1. Vývojový kit

ADSP- BF533 procesor má vnitřní SRAM, která může být použita pro instrukce nebo pro ukládání dat do paměti. ADSP- BF533 EZ- KIT Lite zahrnuje dva typy externí paměti SDRAM a FLASH paměť. Velikost SDRAM je 64 Mbytes (32M x 16 - bit). Flash paměť je implementována se dvěma Dual -Bank Flash paměťovými zařízeními. Tato zařízení zahrnují

primární a sekundární flash paměť stejně jako vnitřní SRAM a registry. Primární flash paměť o celkové velikosti 2 Mbyte je mapovaná do dvou oddělených asynchronních paměťových bloků o velikosti 1Mbyte každého z nich. Sekundární flash paměť, spolu se SRAM a registry, zabírá třetí banku asynchronního paměťového prostoru.

4.1.1. Mapa flash paměti

Každé zařízení zahrnuje následující paměťové části:

- 1M byte primární flash paměti
- 64K byte ze sekundární flash paměti
- 32 K byte vnitřní SRAM
- 256 byte konfiguračních registrů (IO ovladače)

Přístup ke každé části může být 8 nebo 16 - bitový. Asynchronní paměťová banka 0 je povolena vždy po tvrdém resetu, zatímco banky 1 a 2 musí být povoleny softwarem. Tabulka udává příklad na nastavení asynchronního paměťového konfiguračního registru.

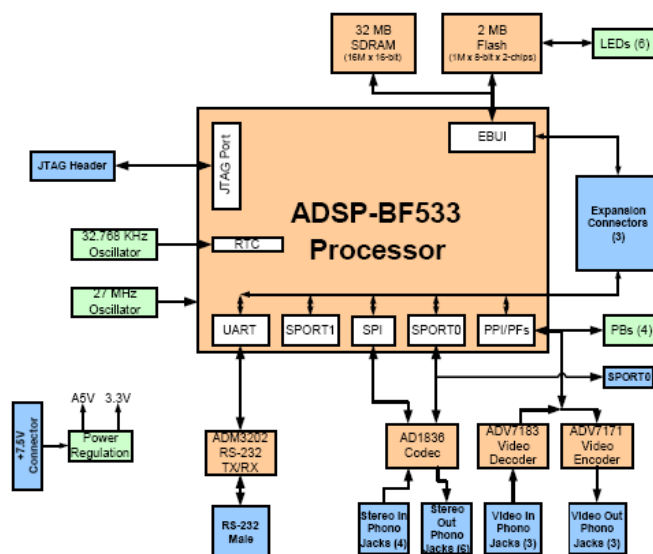
Register	Value	Function
EBIU_AMBCTL0	0x7BB07BB0	Timing control for Banks 1 and 0
EBIU_AMBCTL1 bits 15-0	0x7BB0	Timing control for Bank 2 (Bank 3 is not used)
EBIU_ANGCTL bits 3-0	0xF	Enable all banks

4.1.2. Video rozhraní

Deska podporuje video vstupní a výstupní aplikace. ADV7171 video kodér poskytuje až tři výstupní kanály analogového videa, zatímco ADV7183 video dekodér poskytuje až tři vstupní kanály analogového videa. Kodér a dekodér jsou připojeny k paralelnímu perifernímu rozhraní (PPI) ADSP- BF533 procesoru.

4.1.3. Architektura systému

EZ- Kit Lite byl navržen k tomu, aby demonstroval schopnosti ADSP BF533 Blackfin procesoru. Procesor má IO voltáž 3.3V. Napětí jádra je odvozené z této 3.3V zásoby a užívá vnitřní napěťový regulátor nebo externí regulátor 1,4V. Když procesor pracuje na rychlostech vyšších než 600MHz, je nezbytné použít 1,4V regulátor. Napětí jádra a hlavní taktovací kmitočet může být stanoven za běhu procesorem. Architektura je znázorněna na obr. 4.2.



Obr. 4.2. Architektura systému

4.1.4. Externí jednotka rozhraní sběrnicevého řadiče

Externí jednotka rozhraní sběrnicevého řadiče (EBIU) připojí vnější paměť procesoru ADSP- BF533. EBIU zahrnuje 16 - bitovou sběrnici dat, adresovou sběrnici a řídicí sběrnici. Jsou podporovány oba přístupy, jak 16 tak i 8 bitový. Na EZ Kit Lite, EBI jednotka spojuje SDRAM a Flash paměť.

Zařízení poskytne celkem 2 Mbytes primární flash paměti, 128 Kbytes sekundární flash paměti a 64 Kbytes SRAM. Procesor může užívat tuto paměť pro zavádějící programy a pro ukládání informací během normální činnosti.

4.1.5. Video výstupní mód

V módu výstupního obrazového signálu, PPI rozhraní je konfigurováno jako výstup a připojí se k na desce integrovaného video kodéru, ADV7171. ADV7171 kodér generuje tři analogové video kanály na DAC B, DAC C, a DAC D výstupy. Vstupní hodiny kodéru PPI běží v 27 MHz, a to je ve fázi s CLK IN ADSP- BF533 procesoru. Synchronizační signály kodéru, HSYNC a VSYNC, mohou být konfigurovány jako vstupy nebo výstupy. Video zatemňovací řídicí signál je v úrovni "1". HSYNC a VSYNC signály mohou být připojeny k ADSP- BF533 video dekodéru, ADV7183, přes SW3 mikropřepínač.

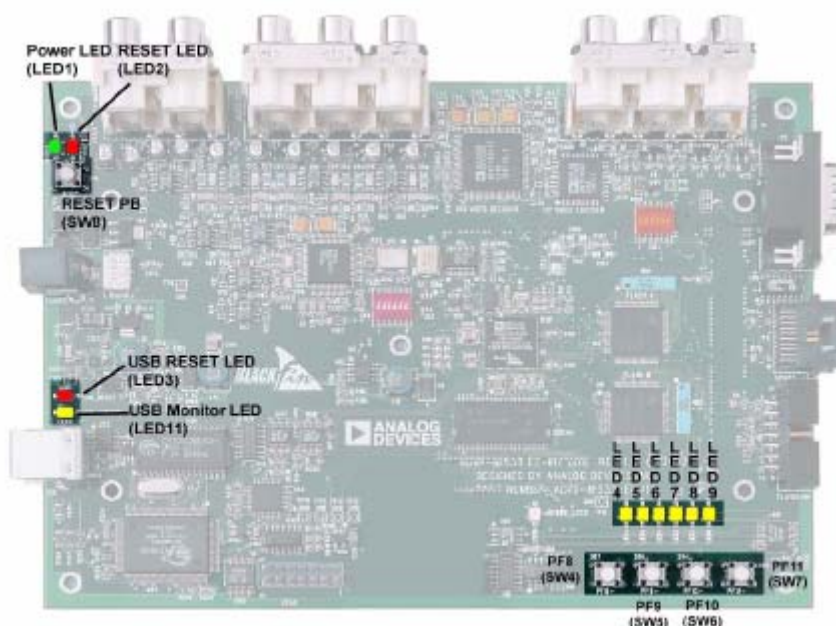
4.1.6. Video vstupní mód

Ve video vstupním módu, PPI rozhraní je konfigurováno jako vstup a připojí se k na desce integrovaného video dekodéru, ADV7183. ADV7183 dekodér přijímá tři analogové

video kanály na AIN1, AIN4, a AIN5 vstupech. Výstup dekodéru může být vybrán, aby řídil PPI hodiny. Synchronizační výstupy z dekodéru, HS/HACTIVE, VS/VACTIVE, mohou být připojeny k ADSP- BF533 video kodéru, ADV7171, přes SW3 dvoupolohovým mikropřepínačem.

4.1.7. LED a tlačítka

Tato část popisuje funkčnost LED diod a tlačítek. Obrázek 4.3. ukazuje umístění Led diod a tlačítek.



Obr. 4.3. LED a tlačítka

4.1.7.1. Programovatelná příznaková tlačítka (SW7–4)

Čtyři tlačítka, SW7–4, jsou volně k dispozici a představují univerzální uživatelský vstup. Tlačítko je aktivní při stisknutí a v tomto okamžiku posílá 1 do procesoru.

4.1.7.2. Resetovací tlačítko (SW8)

RESETOVACÍ tlačítko resetuje všechny prvky umístěné na desce. Jedinou výjimkou je USB interface čip. V případě, že kabel USB je komunikačně neprůchodný nedojde k resetování čipu i přesto, že komunikace s PC byla správně inicializována. Jedinou možností uvolnění komunikace přes USB je resetování čipu odpojením napětí.

4.1.7.3. LED dioda napájení (LED1)

Když LED1 svítí zeleně, je tím signalizováno správné připojení desky ke zdroji napětí.

4.1.7.4. Resetovací LED (LED3–2)

Když svítí LED2 dioda, signalizuje to, že reset všech hlavních IC je aktivní. Svítí-li LED3, znamená to reset interface USB čipu. USB čip se resetuje pouze při startu, nebo pokud USB komunikace není inicializována.

4.1.7.5. Uživatelské LED diody (LED9–4)

Šest LED diod připojených k šesti flash pamětím (U5) univerzálních IO pinů jsou volné k uživatelskému použití. Diody svítí, pokud je do správné adresy flash paměti zapsána '1'.

4.1.7.6. LED dioda USB komunikace (LED11)

Komunikační LED Dioda USB(LED11) signalizuje, že USB komunikace byla inicializována úspěšně a nyní je možno připojit procesor prostřednictvím VisualDSP++ EZ-Kit Lite k PC. Tato inicializace trvá přibližně 15 sekund. Pokud se LED nerozsvítí, je nutno znovu připojit napájení k desce nebo znovu nainstalovat USB ovladače.

4.1.8. Konektory

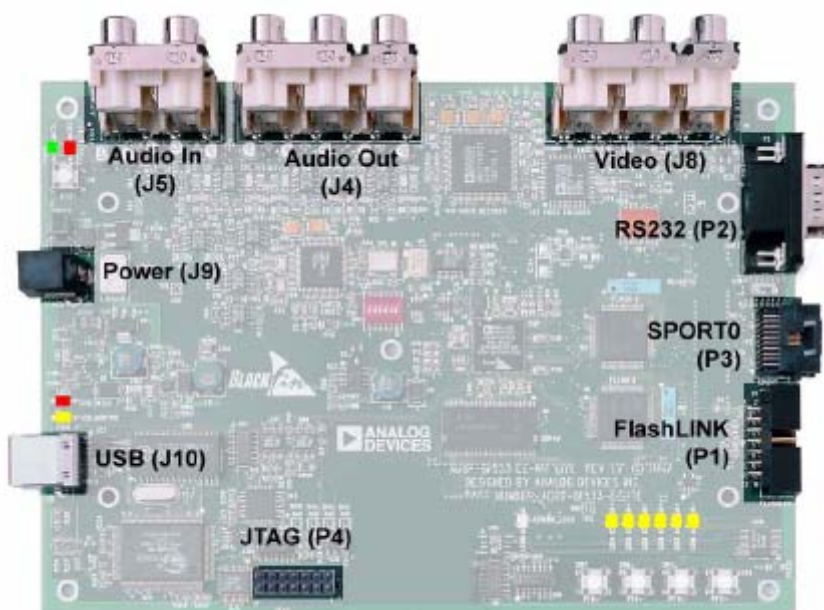
Tato část popisuje konektorovou funkčnost a poskytuje informace o párování konektorů. Rozmístění konektorů je na obrázku 4.4. níže

4.1.8.1. JTAG emulační port

JTAG emulační port dovolí emulátoru zpřístupnit nitro procesoru a vnější paměť skrz 6 - pinové rozhraní. JTAG emulační port procesoru je také připojený k USB ladícímu rozhraní. Když je emulátor připojen k desce, pak USB ladící rozhraní je vyřazené.

4.1.8.2. Rozložení rozhraní (J3–1)

Tři 'board to board' konektory poskytují signály pro většinu procesorových periferních rozhraní. Konektory jsou umístěné na spodní části desky.



Obr. 4.4. Konektory

4.2. VŠEOBECNÝ POPIS dekodéru ADV7183 a kodéru ADV7170/ADV7171

4.2.1. Dekodér ADV7183

ADV7183 je integrovaný video dekodér, který automaticky detekuje a přemění standardní základní analogové pásmo televizního signálu kompatibilního s celosvětovými standardy NTSC nebo PAL do 4:2:2 nebo do 4:1:1 kompatibilní s 16 - /8 - bitovými normami CCIR601/CCIR656. Uvedená vlastnost teoreticky předurčuje toto zařízení jako vhodné pro širokou použitelnost s různorodými analogovými video charakteristickými rysy, včetně pásy pro záložní a vysílací zdroje, bezpečnostní a sledovací kamery a v neposlední řadě také profesionální systémy. 10 - bitový přesný A/D převodník poskytne profesionální kvalitní SNR výkon. Šest analogových vstupních kanálů přijme standardní směsici, S-video a komponentní YCrCb obrazové signály v rozsáhlém množství kombinací.

4.2.2. Kodér ADV7170/ADV7171

ADV7170/ADV7171 je integrovaný digitální video kodér, který přemění digitální CCIR- 601 4:2:2 8 nebo 16 - bitové komponentní video data do standardního analogového základního pásma televizního signálu kompatibilního s celosvětovými standardy. Pokročilý výkonový hospodářský obvod umožní optimální kontrolu nad spotřebou energie v obou normálních pracovních režimech a snížení výkonu nebo klidové režimy.

ADV7170/ADV7171 také podporuje obě PAL a NTSC čtvercové pixelové operace.

Výstupní video pulsnímký jsou synchronizované s přicházejícími daty, referenčními kódy. Kodér přijímá (a může generovat) *HSYNC*, *VSNC* a obrazové taktovací signály. Kodér vyžaduje 24.5454 MHz pro NTSC nebo 29.5 MHz pro PAL čtvereční pixel režimové operace. Všechny vnitřní načasování jsou vygenerované přímo na čipu.

4.3. Paměť procesoru BF533 a její nastavení

Procesor podporuje hierarchický paměťový model s různým výkonem a velikostními parametry, v závislosti na paměťovém místě uvnitř hierarchie. Úroveň 1 (L1) paměti jsou umístěné na čipu a jsou rychlejší než paměťové systémy úrovně 2 (L2). Úroveň 2 (L2) paměti jsou mimo čip a mají delší přístupové latence. Rychlejší L1 paměti, které jsou typicky malá zápisníková paměť nebo vyrovnávací paměti, se nacházejí uvnitř jádra.

Procesor má jednotný 4GB adresový rozsah, který překlene kombinaci čipovou a mimo čipovou paměť a mapu paměti I/O zdrojů. Z tohoto rozsahu, je část adresového prostoru věnována interním, čipovým zdrojům. Procesor zabere části z tohoto vnitřního paměťového prostoru:

- L1 statickou paměti RAM (SRAM) (statický náhodný přístup paměti)
- soubory mapy paměti registrů (MMRs)
- boot paměti pouze pro čtení (ROM)

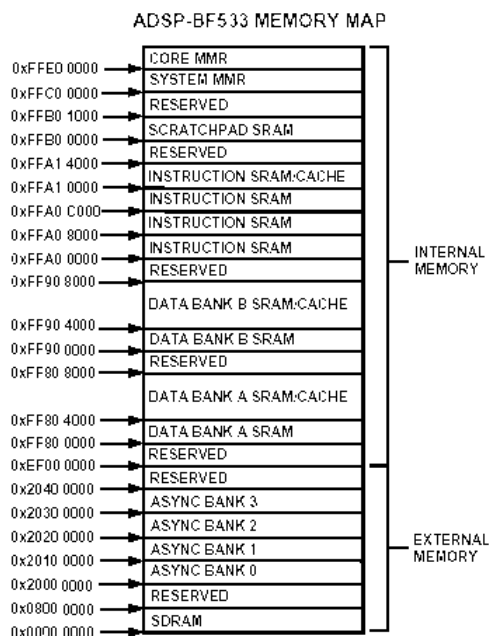
Část vnitřní L1 SRAM paměti může být také konfigurována jako cache. Procesor také poskytuje podporu pro externí paměťový prostor, který zahrnuje asynchronní a synchronní paměťový prostor, DRAM (SDRAM).

Za zmínku stojí, že architektura nedefinuje oddělený I/O prostor. Všechny zdroje jsou mapované přímo skrz 32 - bitový adresový prostor. Paměť je byte- adresovatelná. Jak je ukázáno v tabulce, ADSP- BF533 procesor nabízí různé druhy instrukcí a datových paměťových uspořádání znázorněno v tabulce níže.

Typ paměti	ADSP-BF533
Instrukční SRAM/Cache	16K byte
Instrukční SRAM	64K byte
Data SRAM/ Cache	32K byte
Data SRAM	32K byte
Data Scratchpad SRAM	4K byte
Celkem	148K byte

Horní část vnitřního paměťového prostoru je přidělena jádru a systémovému MMRs. Přístup k této oblasti je povolen pouze když je procesor v Supervisor nebo emulačním režimu. Nejnižší 1K byte vnitřního paměťového prostoru je obsazený boot ROM. Po restartování procesoru se příslušný zaváděcí program vykoná z tohoto paměťového prostoru.

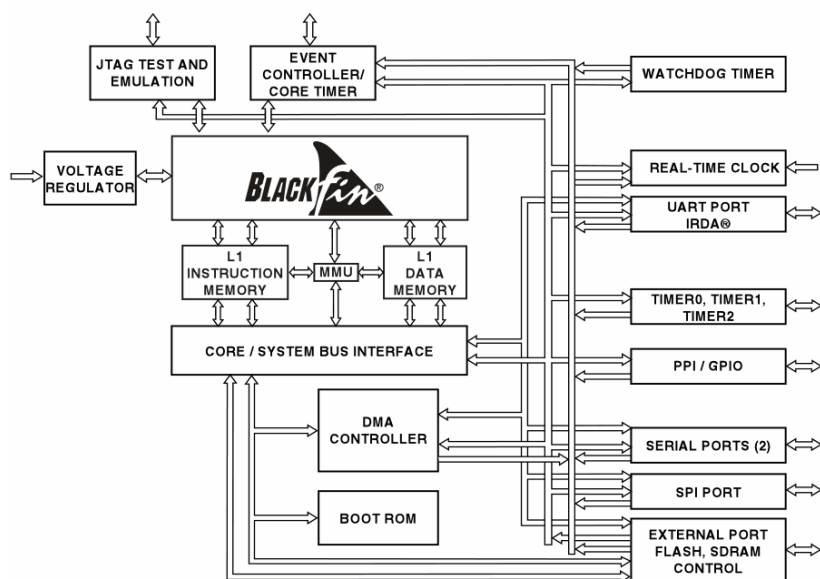
Uvnitř externí paměti jsou dostupné čtyři banky z asynchronního paměťového prostoru a jedna banka SDRAM paměti. Každá z asynchronních bank je 1M byte velká a SDRAM banka stačí na 128M byte.



Obr. 4.5. Mapa paměti

4.3.1. Celkový pohled na vnitřní paměť

L1 paměťová charakteristika systému poskytne vysokou šířku pásma a nízkou latenci. Protože SRAM poskytuje deterministický přístupový čas a velmi vysoké výkonnosti, proto DSP systémy tradičně dosáhly zlepšení výkonu díky rychlé SRAM na čipu. Přidáním instrukční a datové cache (vyrovnávací) paměti a SRAM s cache kontrolním hardwarem, poskytují velmi výkonný a jednoduchý programovací model. Cache paměť odstraní potřebu pro explicitní řízení přesunu dat do a z L1 paměti. Kód může být velmi rychle vyvinut pro procesor bez vyžadující výkonové optimalizace pro paměťovou organizaci.



Obr. 4.6. Blokové schéma ADSP BF 533

4.3.2. L1 paměť poskytuje:

- Upravenou harvardskou architekturu, dovolující až čtyři hlavní přístupy do paměti za jeden hodinový cyklus, a to:
 - přenos jedné 64- bitové instrukce
 - 2 x 32 – bitové množství dat
 - 32 - bitové uložení dat
- obsluhu cache paměti, přístup k jádru
- přístup k SRAM v jednom procesorovém taktovacím kmitočtu (CCLK) pro rozhodující DSP algoritmy a rychlé kontextové přepnutí
- Instrukční a data cache volby pro kód mikrořadiče, vynikající podpora HLL (High

Level Language) jednoduchost programování cache ovládací instrukce, jako PREFETCH a FLUSH

- Ochrana paměti

L1 paměti pracují na hodinové frekvenci jádra(CCLK).

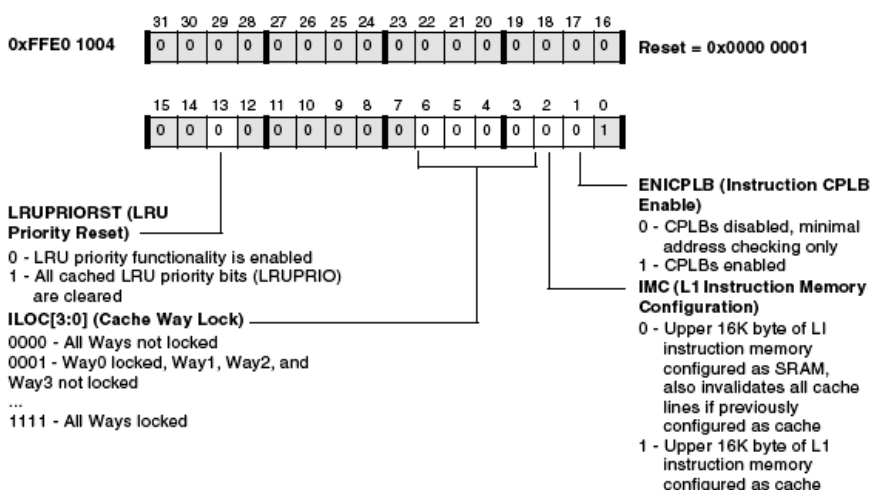
4.3.3. Celkový pohled na Scratchpad Data SRAM

Procesor poskytuje vyhrazenou 4K byte banku, pracovní blok dat SRAM. Pracovní blok je nezávislý na uspořádání ostatních L1 paměťových blocích a nemůže být konfigurován jako cache nebo cíl od DMA. Tento pracovní blok paměti využívají aplikace, kde je rozhodující rychlost. Například hromady by měly být mapovány do této paměti pro nejrychlejší kontextové přepnutí během přerušení. L1 paměti pracují v hodinové frekvenci jádra(CCLK). Scratchpad data SRAM nemůže být zpřístupněna od DMA kontroleru.

4.3.4. Nastavení L1 instrukční paměti

L1 instrukční paměť se skládá z kombinace jednoúčelových SRAM a bank které mohou být konfigurované jako SRAM nebo cache. Pro 16K byte banku která může být buď cache nebo SRAM, jsou řídicí bity v IMEM_CONTROL registru, obr. 4.7. Tento registr může být užit pro ovládání všech čtyřech subbank z L1 instrukční paměti jako SRAM. L1 Instrukční paměť může být použita jen pro ukládání instrukcí do paměti.

L1 Instruction Memory Control Register (IMEM_CONTROL)



Obr. 4.7. Nastavení IMEM_CONTROL registru

4.3.5. L1 instrukční cache

L1 instrukční paměť také může být konfigurována, aby obsahovala 4 – Way asociative instruction 16K byte cache. Pro zlepšení průměrné přístupové latence pro kritické sekce zdrojového kódu, můžeme každou cestu nebo linku cache uzamknout nezávisle. Když je paměť konfigurována jako cache, nemůže být zpřístupněna přímo.

4.3.6. L1 paměť dat

L1 paměť dat může být použita jen pro ukládání dat.

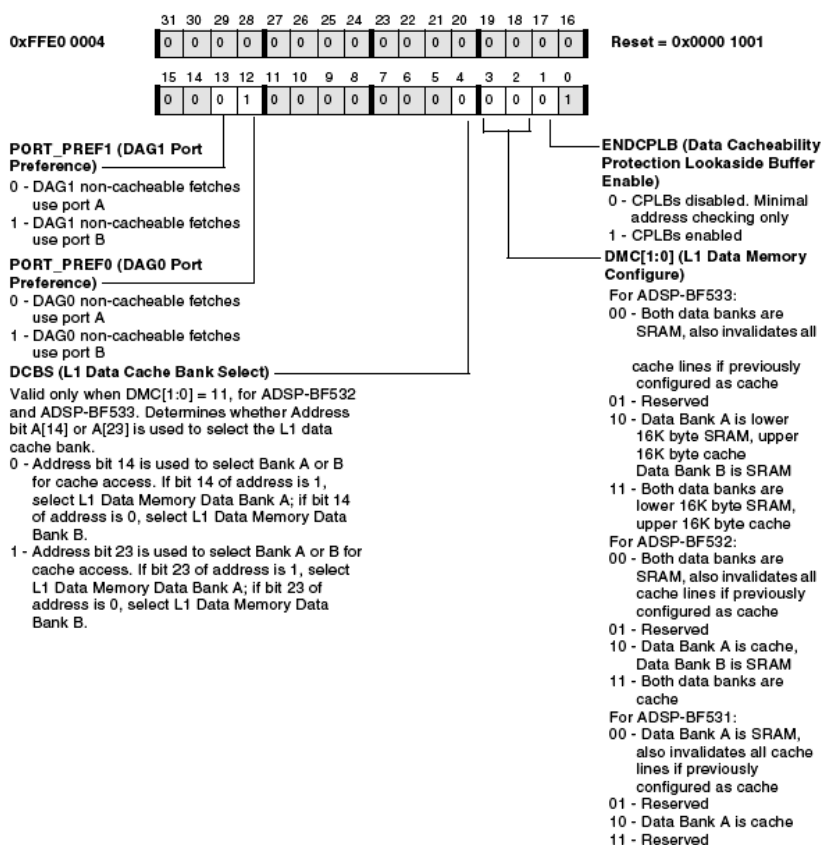
DMEM_CONTROL registr

Kontrolní registr pro paměť dat (DMEM_CONTROL) obsahuje řídicí bity pro L1 Data paměť.

4.3.7. Nastavení L1 data cache

Když data cache je povolena (řízená bity DMC[1:0] v DMEM_CONTROL registru), buď jako 16K byte data banky A nebo 16K byte obou bank údajů A a banky údajů B může být nastavena jako cache. Pro ADSP BF533 je užívaných horních 16K byte. Jestli že je povolena cache (řízený bity DMC[1:0] v DMEM_CONTROL registru, obr. 4.8.), pak data CPLB by měla také být povolena (řízený ENDCPLB bity v DMEM_CONTROL registru). Standardní chování, kdy data z CPLB jsou vyřazená, není žádný druh paměti nastaven jako cache. Chybné chování může vyplývat z konfigurace, data obsažených v CPLB, MMR prostoru jako cache, nebo když banky údajů sloužící jako L1 SRAM jsou konfigurovány jako cache.

Data Memory Control Register (DMEM_CONTROL)



Obr. 4.8. Nastavení DMEM_CONTROL registru

4.4. Direct Memory Access (DMA)

ADSP- BF533 DMA controler dovolí přesun datových operací bez účasti procesoru. Jádro reaguje na přerušení když jsou data k dispozici. Typy datových transferů :

Vnitřní nebo vnější paměť - vnitřní nebo vnější paměť

Vnitřní nebo vnější paměť - sériový periferní interface (SPI)

Vnitřní nebo vnější paměť - sériové rozhraní počítače

Vnitřní nebo vnější paměť - UART port

Vnitřní nebo vnější paměť - paralelní rozhraní počítače (PPI)

4.4.1. DMA sběrnice

DMA přístupová sběrnice (DAB) poskytuje prostředky pro zpřístupnění periferních zařízení DMA kanály. DMA externí sběrnice (DEB) poskytuje prostředky pro získání přístupu k mimo- čipové paměti těmito kanály. Procesor má přednost před DBE na externí portové sběrnici (EPB) pro mimo- čipovou paměť. DMA hlavní sběrnice (DCB) poskytuje prostředky pro získání přístupu k čipové paměti prostřednictvím DMA kanálů. DCB má přednost před procesorem při arbitráži do L1 paměti nakonfigurované jako SRAM.

Před zahájením DMA přenosu musí být nastaveny určité parametry, kterými jsou:

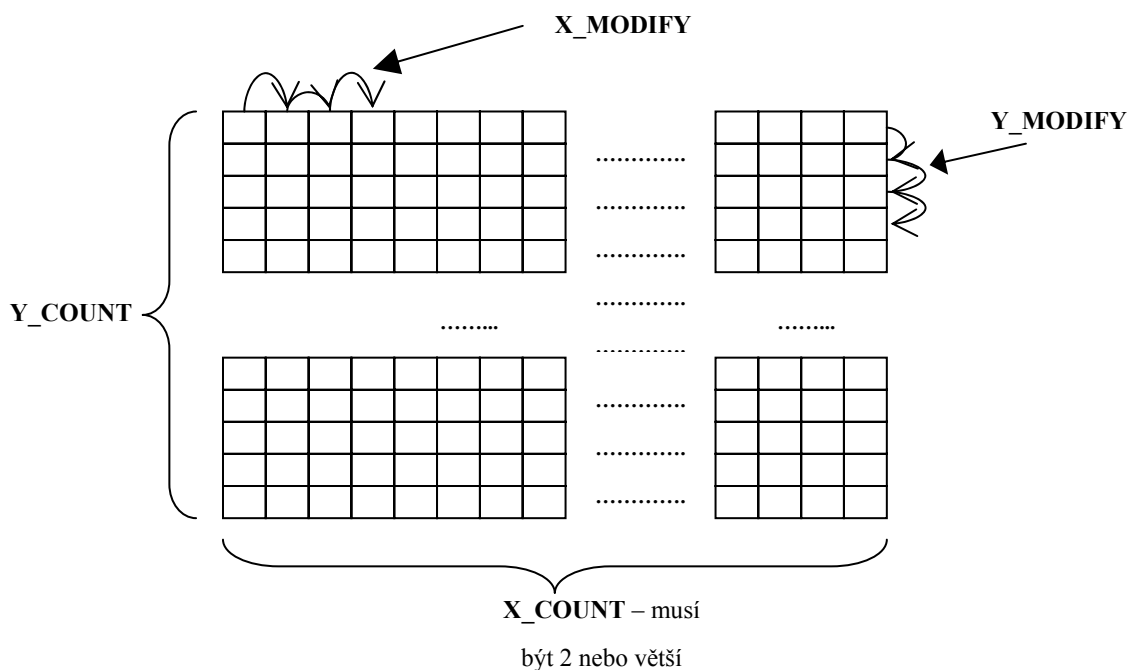
Konfigurace – popisuje charakteristické rysy z DMA transferu jako např. datová velikost, přenosový směr, atd..

Počáteční adresa – Specifikuje adresu odkud DMA transfer začne.

Počet – Specifikuje počet elementů DMA pro přenos.

Modifikace – Specifikuje adresu zvýšení po každém přeneseném prvku.

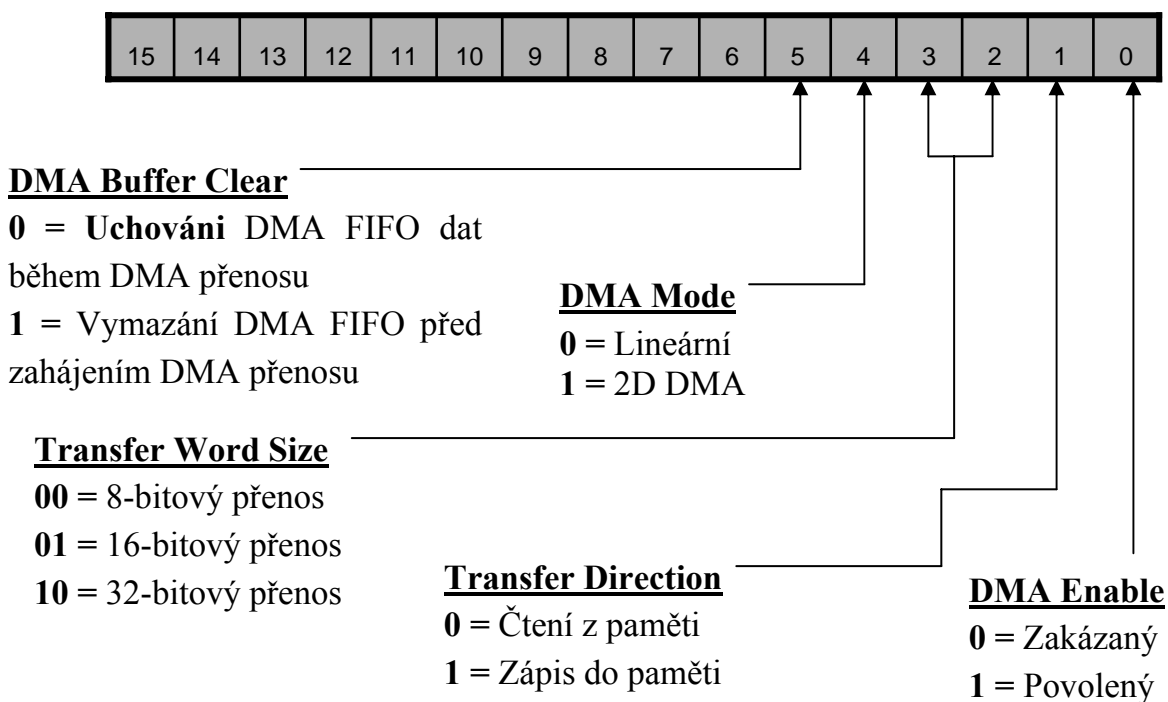
4.4.2. Dvourozměrné DMA (2D DMA)

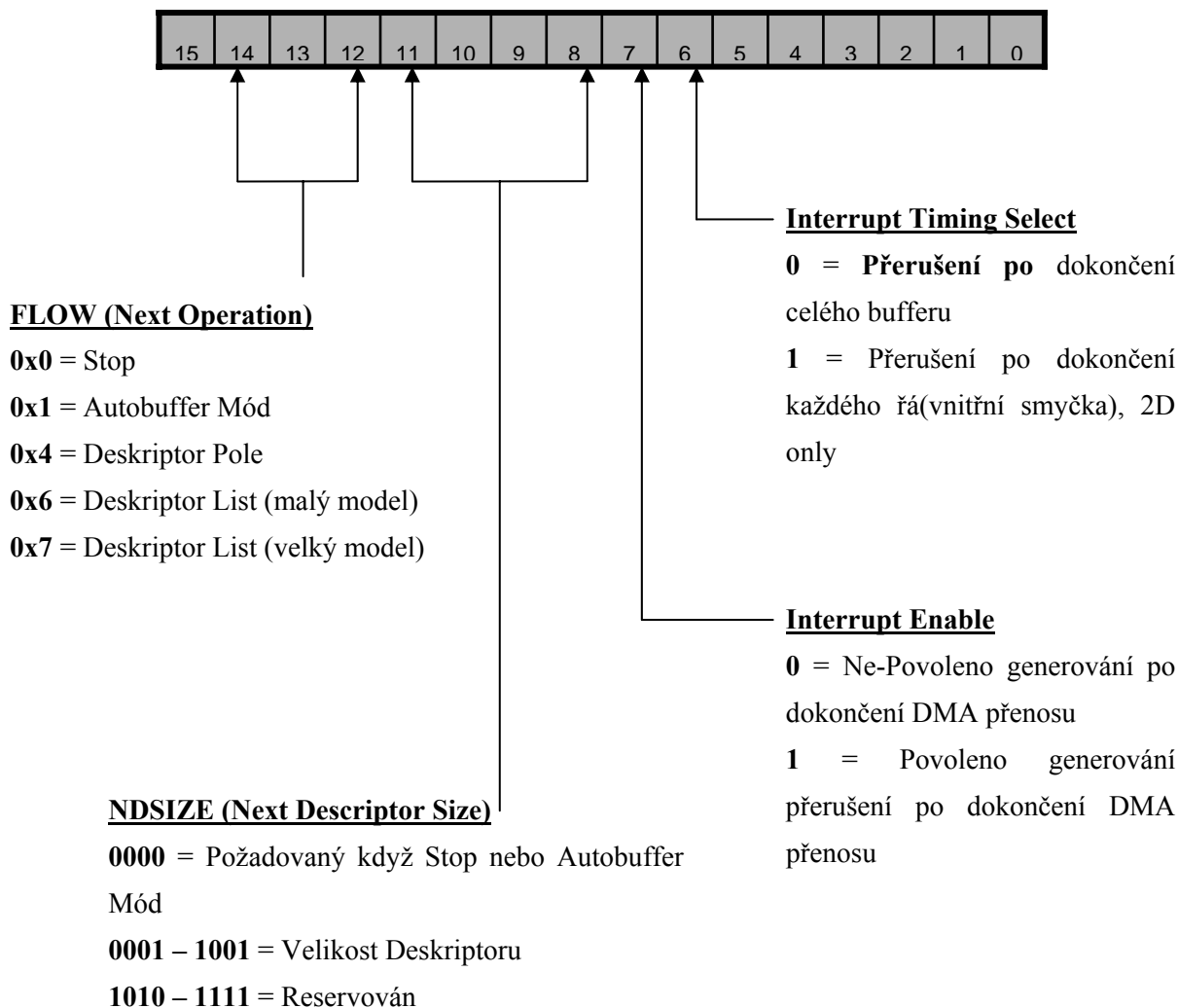


Parametry 2D DMA

X_Modify je byte adresa, která se zvýší po každém přenosu, který sníží počet Curr_X_Count. X_Modify se nezvýší, když počet vnitřní smyčky (řádek) skončí snížením Curr_X_Count od 1 do 0. Y_Modify je byte adresa, která se zvýší po každém snížení Curr_Y_Count. Y_Modify není aplikována na poslední prvek v poli, ve kterém počítá vnější smyčka (sloupec), Curr_Y_Count vyprší snížením z 1 do 0. Po dokončeném posledním přenosu, Curr_Y_Count = 1 a Curr_X_Count = 0, a Curr_Addr se rovná poslední položkové adrese plus X_Modify.

4.4.3. Konfigurace DMAx_CONFIG





4.4.4. Ukázka nastavení DMA

//Cílová adresa ukládání DMA, volena s ohledem na velikost obrázku (720 x 576)

```
*pDMA0_START_ADDR = (void *) 0xCF850;
```

//Line_Length = počet řádků (576) v jednom obrázku, 16-bitový přenos

```
*pDMA0_X_COUNT = Line_Length;
```

//Nastaveno na hodnotu 2 kvůli 16-bitovému přenosu

```
*pDMA0_X_MODIFY = 0x2;
```

//Frame_Length = počet sloupců (720) v jednom obrázku, 16-bitový přenos

```
*pDMA0_Y_COUNT = Frame_Length;
```



```
// Nastaveno na hodnotu 2 kvůli 16-bitovému přenosu
*pDMA0_Y_MODIFY = 0x2;

//Používán PPI
*pDMA0_PERIPHERAL_MAP = 0x0;
*pDMA0_CONFIG = DMAEN | DI_EN | WNR | WDSIZE_16| DMA2D |
RESTART | DI_EN;
```

5. Implementované algoritmy

Vytvořené algoritmy a jejich volání:

medián	<code>_median(ObrInput, col, row, ObrOutput)</code>
dilatace	<code>_dilation(ObrInput,col,row,se1,ObrOutput)</code>
eroze	<code>_erosion(ObrInput,col,row,se0,ObrOutput)</code>
perimeter	<code>_perimeter(ObrInput,col,row,ObrOutput)</code>
FFT	<code>_CFFT_Rad4_PS_PBRev(in, output, n, w)</code>

Další algoritmy lze vytvořit kombinací těchto funkcí

otevření	eroze následovaná dilatací
uzavření	dilatace následovaná erozí

Vstupní hodnoty pro tyto funkce jsou velikost obrazu v podobě počtu řádků (row) a sloupců (col), dále proměnná (ukazatel ... ObrOutput) ukazující na místo v paměti, kam se má daný výsledek uložit a v neposlední řadě také proměnná (ukazatel ... ObrInput) ukazující na místo v paměti, kde daný obrázek začíná. U některých funkcí je rovněž potřeba udat velikost a podobu strukturního elementu (se1, se0). Velikost a podoba strukturního elementu není pevně definována, lze ji libovolně měnit i pro každou funkci zvlášť v podobě proměnné.

5.1. Předzpracování obrazu

5.1.1. Složení obrazu

Před samotnou aplikací těchto algoritmů na daný obraz bylo nutné vstupní video signál poněkud upravit. Vstupní video signál přesně odpovídá normě PAL/CCIR, popsány výše, což má za následek proložení lichých a sudých pulsů, jak je vidět na obr. 5.1. V signálu jsou zakomponovány i hodnoty o barvě. Na první pohled je zřejmé, že tento formát obrázku není vhodný pro další zpracování, proto ho je nutné správně přeskupit. Můžeme vyjít ze znalosti normy PAL/CCIR, která říká, že lichému pulsůmku přísluší televizní řádek 1 až 312,5 a sudému pulsůmku televizní řádek 312,5 až 625. Pak již snadno určíme počáteční adresu lichého, resp. sudého pulsůmku. Počáteční adresa obrázku 0xCF851 je určena DMA controlerem.

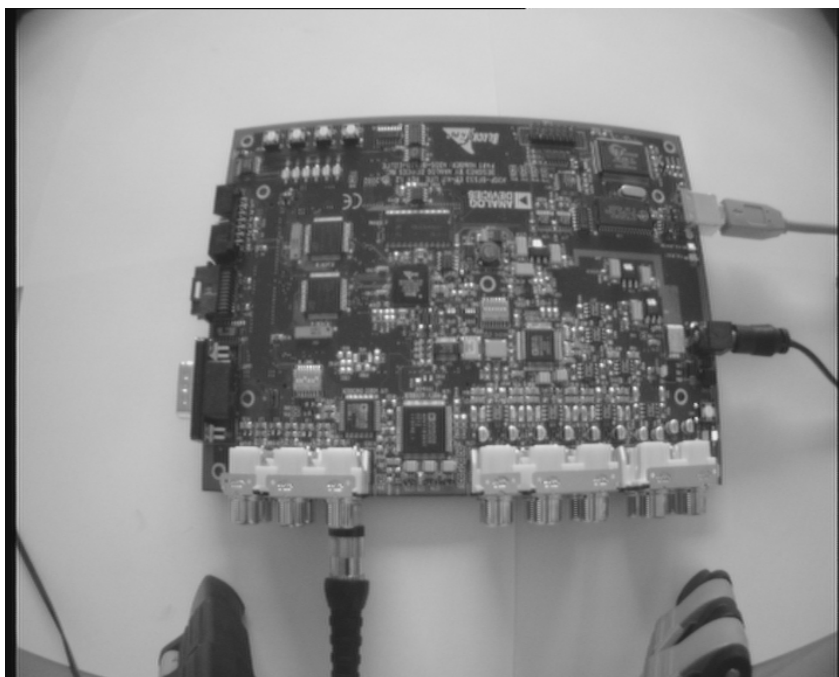
Ukázka zdrojového kódu na seskupení obrazu.

```
pSude = (void *) 0xCF851; //pocatecni adresa ObrInput sudy snimek
pLiche = (void *) 0x134c51; //pocatecni adresa ObrInput lichy snimek
for (i = 0; i < velikost; i++){
    if (((int)(i/720)) % 2 == 0){
        ObrInput[i] = *pSude;
        pSude = pSude + 2;
    }
    else {
        ObrInput[i] = *pLiche;
        pLiche = pLiche + 2;
    }
}
```



Obr.5.1. Původní obrázek

Při použití CCIR kamery je nutné vynechat hodnoty nesoucí informaci o barvě (svislé pruhy v původním obraze). Tohoto kroku dosáhneme načítáním každé druhé hodnoty z paměti procesoru, tzv. střída 2. Po dokončení těchto dvou operací máme již vhodný formát obrazu pro šedotónové algoritmy zpracování obrazu, obr. 5.2.



Obr. 5.2. Upravený šedotónový obrázek

Na tento obrázek (obr. 5.2) již můžeme aplikovat vytvořené funkce, které pracují s šedotónovým obrazem. V tomto případě není možno použít jinou funkci než medián.

5.1.2. Prahování

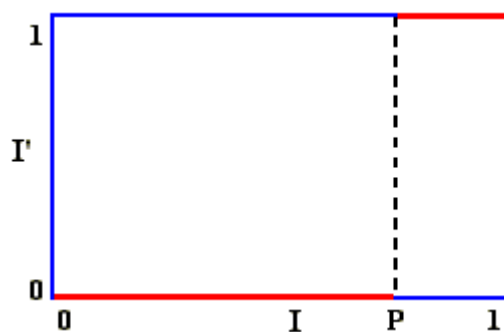
Pro další algoritmy je nutné tento šedotónový obraz dále upravit v podobě segmentace obrazu.

Prahování je jedna z nejstarších a nejjednodušších metod segmentace obrazu a patří také k jedné z nejrychlejších.

Ve většině případů “vystupují” objekty z pozadí, čímž je myšleno, že jasové (barevné) hodnoty prvků obrazové funkce (pixelů) objektů jsou odlišné od pozadí. Na tomto předpokladu je založena metoda prahování. Jejím principem je najít vhodný práh (hodnota jasu), který by “oddělil” objekty od pozadí. Výsledkem tohoto procesu je obraz v binárním tvaru, ve kterém mají hodnotu 1 ty prvky obrazové funkce, které patří objektům a hodnotu 0 ty, které patří pozadí. Funkce prahování usnadní v mnoha případech proces identifikace objektů v obraze. Pokud jsou intenzity I původního obrazu menší než zvolená prahová hodnota P , přiřadí se jim intenzita 0, v opačném případě intenzita 1, obr. 5.3. Pro výslednou intenzitu I' platí

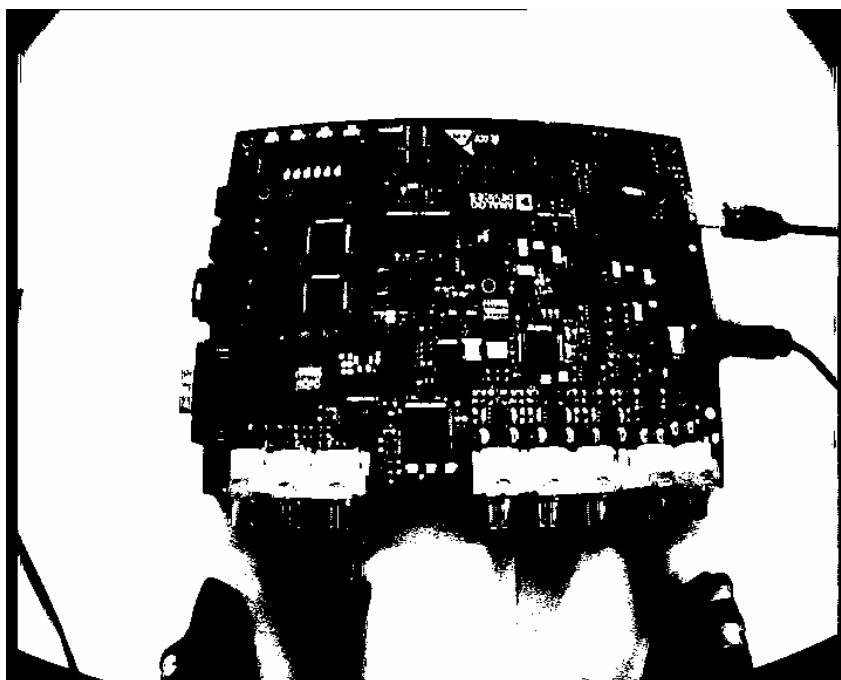
$$\begin{aligned} \text{pro } I < P \quad I' &= 0 \\ \text{pro } I \geq P \quad I' &= 1 \end{aligned}$$

Tato funkce může pracovat i s více prahy, přičemž u každého prahu dojde ke změně výsledné intenzity z hodnoty 0 na 1 či opačně.



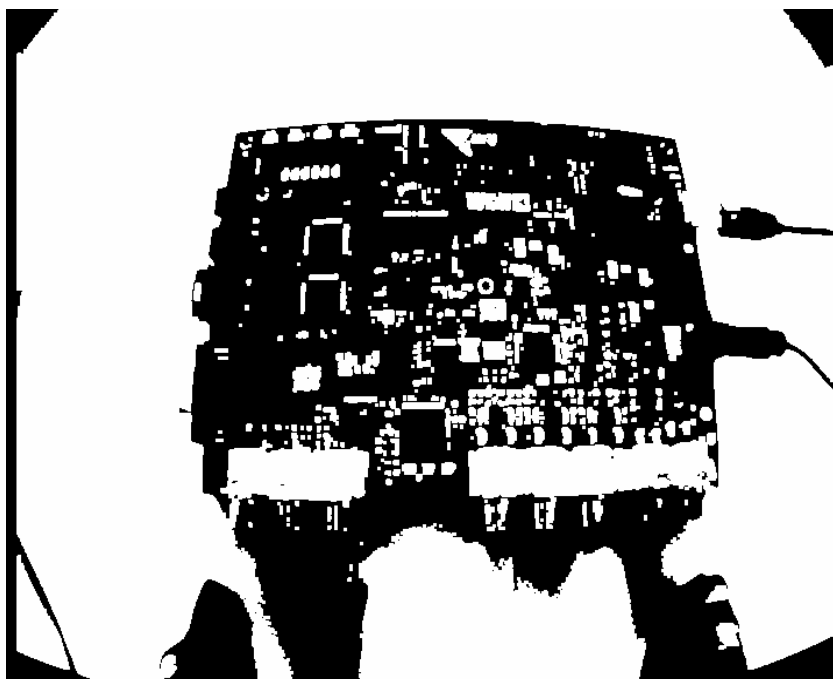
Obr. 5.3. Grafické znázornění funkce prahování

Upravený šedotónový obrázek (Obr.5.4.) segmentovaný prahováním s hodnotou prahu 130. Tento binární obrázek je vstupním obrazem pro zbylé algoritmy počítačového zpracování obrazu (dilatace, eroze, perimeter, ...), které pracují jen s binárním obrazem.



Obr. 5.4 Vstupní binární obrázek

Na dalším obrázku, obr. 5.5., je ukázán výsledek jednoho z implementovaných algoritmů na signálový procesor ADSP BF533. V tomto případě se jedná o dilataci s isotopickým strukturním elementem 3x3.



Obr. 5.5. Výstupní obrázek - dilatace

5.2. Ověření funkčnosti algoritmů

Pro ověření správné funkčnosti vytvořených algoritmů, jsme použili standardní funkce programu Matlab 7.0 (IMERODE, IMDILATE, IMCLOSE, IMOPEN, MEDFILT2 ...). Výsledky implementovaných algoritmů na signálový procesor ADSP BF533 a porovnání se standardními algoritmy Matlabu jsou uvedeny v příloze.

5.3. Test rychlosti vytvořených algoritmů

Test rychlosti byl proveden na funkci mediánu, pro osmi okolí. Pro přesnější měření času jsem na daný obraz použil 1000krát filtr mediánu. Tento test jsem aplikoval jak na signálovém procesoru tak i na PC v laboratoři počítačového zpracování obrazu (LDIP). Čas potřebný na zpracování daného testu na signálovém procesoru ADSP BF533 byl přibližně 2krát kratší než u testu na PC.

5.4. Signálový procesor ADSP BF533 versus PC

Z obou předchozích testů je patrné, že použití signálového procesoru ADSP BF 533 na zpracování základních algoritmů počítačového zpracování obrazu je podstatně výhodnější než zpracování těchto algoritmů pomocí PC. Dalšími faktory, hovořícími jasně ve prospěch použití signálového procesoru ve srovnání s PC, jsou značně nižší pořizovací náklady a nižší spotřeba elektrické energie.

6. Závěr

Výsledkem diplomové práce jsou jednak hotové a plně funkční algoritmy počítačového zpracování obrazu implementované na signálový procesor ADSP BF533. Ukázky výsledků některých algoritmů jsou uvedeny v příloze.

Při vývoji těchto algoritmů byl kladen důraz na rychlost zpracování video signálu, a proto hlavní části zdrojového kódu jsou napsány v programovacím jazyku Assembler ve vývojovém prostředí VisuallDSP++ 4.0.

Pro ověření funkčnosti a rychlosti vytvořených algoritmů byly použity standardní funkce programu Matlab 7.0.

Dalším pozitivním výsledkem diplomové práce je aplikace vytvořených algoritmů pro zpracování video signálu použitím signálového procesoru. Při této aplikaci bylo zjištěno vyhodnocením naměřených rychlostí zpracovaného video signálu, že toto zpracování je v průměru dvakrát rychlejší než pomocí PC.

Podle mého názoru bylo zadání diplomové práce výše uvedenými dosaženými výsledky naplněno.

Literatura

Seznam odborné literatury:

- [1] Fischer, J.: Optoelektronické senzory a videometrie, ČVUT FEL Praha 2002
- [2] Hlaváč, V., Sedláček, M.: Zpracování signálů a obrazů, ČVUT FEL Praha 2000
- [3] Šonka, M., Hlaváč, V., Boyle, R.: Image Processing, Analysis, and Machine Vision, PWS, Boston, USA, 1998
- [4] Kuba, P., Vít, V.: Televizní technika, Studiové zpracování televizního signálu, BEN, Praha 2000
- [5] Vít, V.: Základy televizní techniky, SNLT, Praha 1987
- [6] <http://www.analog.com/>
- [7] <http://www.blackfin.org/>

Přílohy

Příloha č. 1 Ukázka výsledků algoritmu dilatace



Originál obrázku

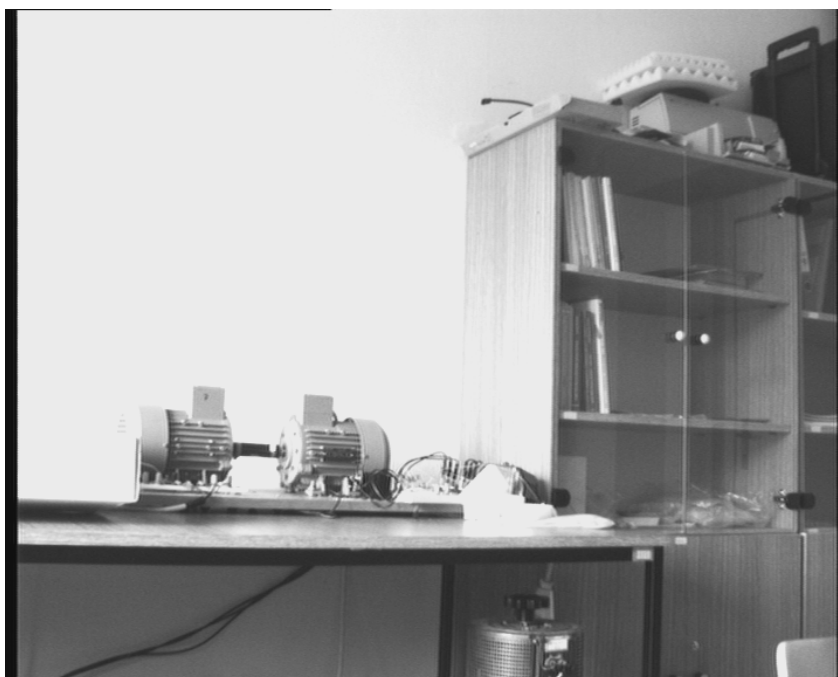


Vstupní obrázek pro algoritmus dilatace

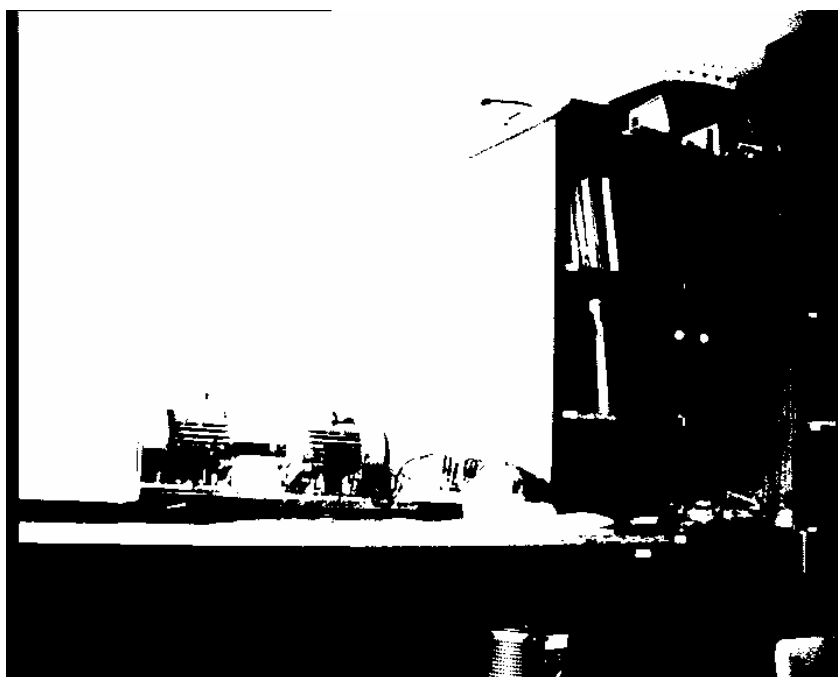


Výstupní obrázek algoritmu dilatace

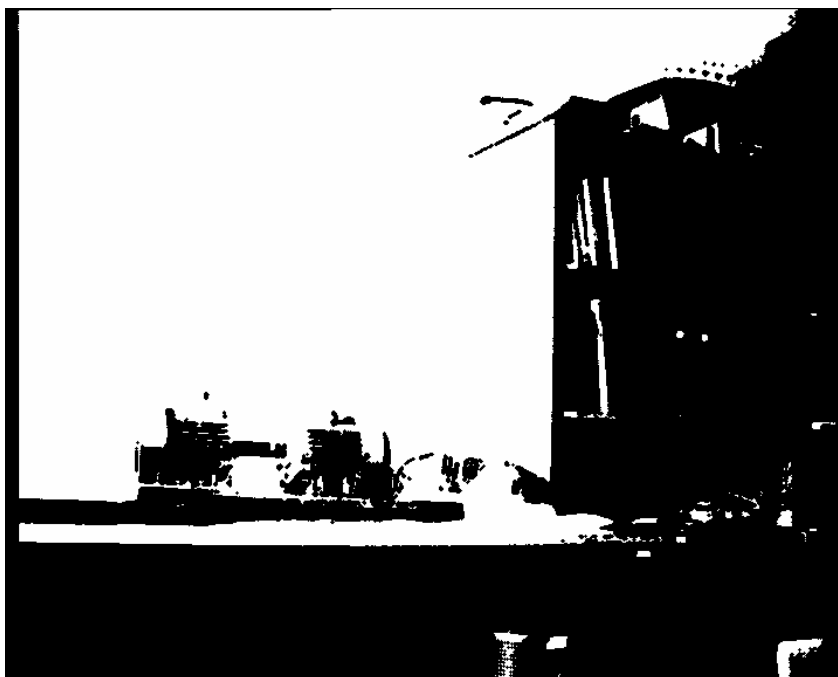
Příloha č. 2 Ukázka výsledků algoritmu eroze



Originál obrázku



Vstupní obrázek pro algoritmus eroze

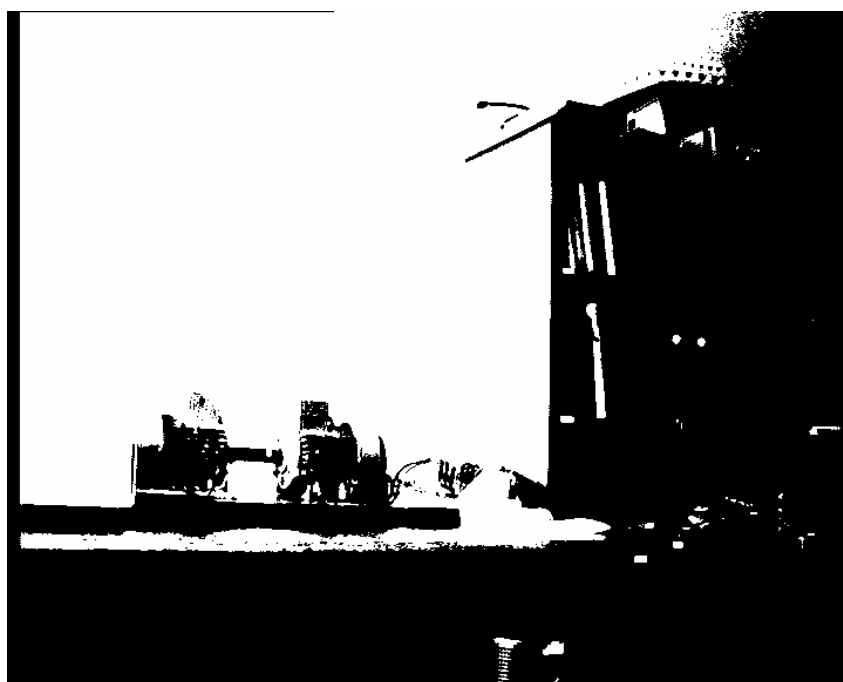


Výstupní obrázek algoritmu eroze

Příloha č. 3 Ukázka výsledků algoritmu perimeter



Originál obrázku



Vstupní obrázek pro algoritmus perimeter



Výstupní obrázek algoritmu perimeter

Příloha č. 4 Ukázka výsledků algoritmu medián



Vstupní obrázek algoritmu medián

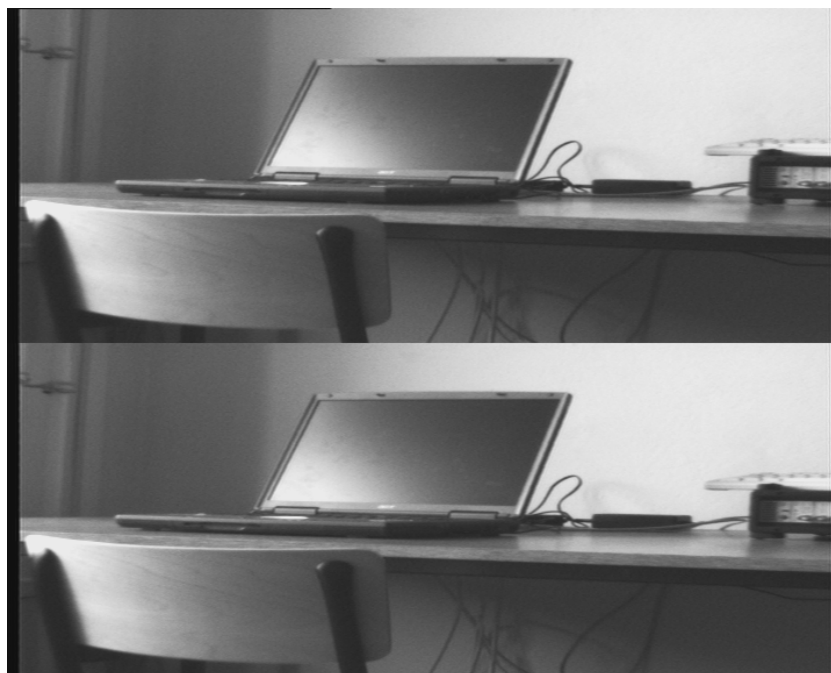


Výstupní obrázek algoritmu medián



Rozdíl vstupního a výstupního obrázku algoritmu medián

Příloha č. 5 Ukázka obrázku lichého a sudého pulsnímků



Upravený vstupní video signál